机器人竞技系列

机器人制作宝典

〔日〕清弘智昭　铃木　升　著



科学出版社　OHM社

(TP-1671.0101)
责任编辑　赵丽艳　樊友民
责任制作　魏　谨
封面制作　李　力



- 机器人C语言机电一体化接口
- 有视觉机器人制作
- 机器人竞赛指南
- 机器人制作宝典
- 机器人组装大全
- 自律型机器人制作

ISBN 7-03-010042-5
9 787030 100429 >

ISBN 7-03-010042-5/TP · 1671
定 价：16.80 元

机器人竞技系列

机器人制作宝典

〔日〕清弘智昭　铃木　升　著
刘本伟　译



科学出版社　OHM社
2002

图字:01-2002-0303 号

Original Japanese edition
Robot Seisaku no Keyword
by Noriaki Kiyohiro and Noboru Suzuki
Copyright © 2000 by Noriaki Kiyohiro and Noboru Suzuki
Published by Ohmsha, Ltd.
This Chinese language edition is co-published by Ohmsha, Ltd. and Science Press
Copyright © 2002
All rights reserved

本书中文版版权为科学出版社和 OHM 社所共有

RoboBooks
ロボット製作のキーワード
清弘智昭　鈴木　昇　オーム社　2000年　第1版第1刷

图书在版编目(CIP)数据

机器人制作宝典/(日)清弘智昭,铃木升著;刘本伟译. —北京:科学出版社,2002
(机器人竞技系列)
ISBN 7-03 010042-5

Ⅰ.机…　Ⅱ.①清…②铃…③刘…　Ⅲ.机器人-制作　Ⅳ.TP242

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 004856 号

北京东方科龙图文有限公司　制作
http://www.okbook.com.cn
科学出版社　OHM 社　出版
北京东黄城根北街 16 号　邮政编码:100717
http://www.sciencep.com
中国科学院印刷厂　印刷
科学出版社发行　各地新华书店经销

2002 年 3 月第　一　版　开本:B5(720×1000)
2002 年 3 月第一次印刷　印张:8 1/4
印数:1—5 000　　字数:144 000

定　价:16.80 元
(如有印装质量问题,我社负责调换(新欣))

前　言

最近，在日本各地兴起了举办各种机器人大赛的热潮。其中，既有全国性的相扑机器人大赛、高专（高等工业专科学校的简称）机器人对抗赛，也有作为高专、大学课程一部分而设置的课程竞赛。除此之外，各地还举办了各种形式的地方性大赛。例如，在山梨县八户市举行的“山梨机器人大赛”就是众多的地方性赛事之一。这是一种由中学教师个人发起，县政府、学校和产业界通力合作，为了振兴地区科技而举办的一种地方性赛事。举办这么多赛事的主要原因，就是为了增强年轻人对理工科的兴趣，减轻当前年轻人厌烦学习理工科的倾向。

的确，理工科学生的学习十分繁重。为了避免将来的学习压力，有很多初中和高中应届毕业生，在面对是否报考理工类学校或大学的问题上犹豫不决，这种心情是可以理解的。但是，不进入到理工类专业学习，就体验不到一种特殊的快乐，那就是“制作的快乐”。当看到自己设计、制作的作品运行起来时，那种喜悦的心情是任何事情都无法比拟的。如果这种产品又被大规模地推向市场，为很多人使用和珍爱，这种快乐就更是无以复加了。事实上，在学生时代，很少有人能够品尝到后一种的极至快乐。“机器人大赛”为大家提供了一个实验的舞台。因此，希望大家能积极地参加机器人大赛，去体验一下“制作的快乐”。而且，对于初中和高中在校学生最关心的升学考试问题，有关部门也正在酝酿出台一些新的举措，准备在理工科推荐考试中，给参加过机器人大赛的同学予以积极的评价。

尽管很多学校的同学都想参加机器人大赛，但是他们却不知道应该从何处入手。例如，很多同学都不清楚应该怎样设计机器人，需要采用哪些材料和零部件，这些材料和零部件应该怎样使用，应该怎样加工零部件等等。对于以前没有制作经历的同学来说，面对这些问题就更是茫然无措了。要制作机器人，制作者就必须具备广博的知识。必须掌握电路的设计与制作、机械零件的设计与加工，以及计算机等多门学科的知识。为了给大家参赛提供方便，本书将制作和参赛过程中经常遇到的问题，如应

03/07

该怎样获取大赛的相关信息(举办地点、大赛的类型等),在制作过程中经常使用的材料以及经常采用的基本结构等诸多问题,归纳成若干个要点。针对每个要点,分别进行了比较详细的说明。希望大家能够参考本书制作出自己的机器人,并带着它走向赛场,去体验一下看到自己制作的机器人运行时的那种快乐。

另外,如果有同学想更深入地了解有关机器人制作方面的知识,获取机器人大赛的最新信息,还可以上网查询我们开设的如下主页:

URL http://junkshop.mesa.yamanashi.ac.jp/robocon/index.html

当同学们在参考本书制作机器人时,如果不清楚书中提到的零部件是由哪个厂家生产的,商品名称是什么,就会给制作带来不便。为此,在本书的最后,我们给出了书中提到的各种零部件,它的生产厂家、商品名称以及其它相关信息的一览表。希望大家能充分利用这张表和我们的主页,制作出一个非常棒的机器人。

著　者

目　录

Chapter 1 参加机器人大赛

1.1 查询机器人大赛的信息 …… 2
1.2 机器人构成要素之一——机械部件 …… 13
1.3 机器人构成要素之二——电气电子部件 …… 21
1.4 加工方法与工具 …… 31
1.5 制作失败时的求助热线 …… 53

Chapter 2 制作机器人

2.1 材　料 …… 56
2.2 工　具 …… 64
2.3 加　工 …… 69

Chapter 3 机器人的设计

3.1　机器人的运动 …… 74
3.2　机械零件 …… 81
3.3　电气零部件 …… 83
3.4　机器人的动力 …… 105
3.5　机器人工作不正常时的求助热线 …… 108

Chapter 4 机器人的控制

4.1　机器人的大脑 …… 114
4.2　机器人的眼睛、耳朵及触觉 …… 121

机器人制作用零部件、材料一览表 …… 124

chapter 1

参加机器人大赛

电视台每年都会播放面向高专(高等工业专科学校的简称。下同)在校生的机器人大赛和面向在校大学生的机器人设计大赛,这些赛事已广为人知。除此之外,日本各地每年都会举办各种形式的机器人大赛。现在,随着社会的发展,我们已经进入了网络时代,互联网的应用领域不断扩大,很多信息都可以通过互联网进行查询。在这里,将介绍一下通过使用互连网,获取国内举办的机器人大赛的有关信息的方法,以及几个机器人大赛的相关信息。

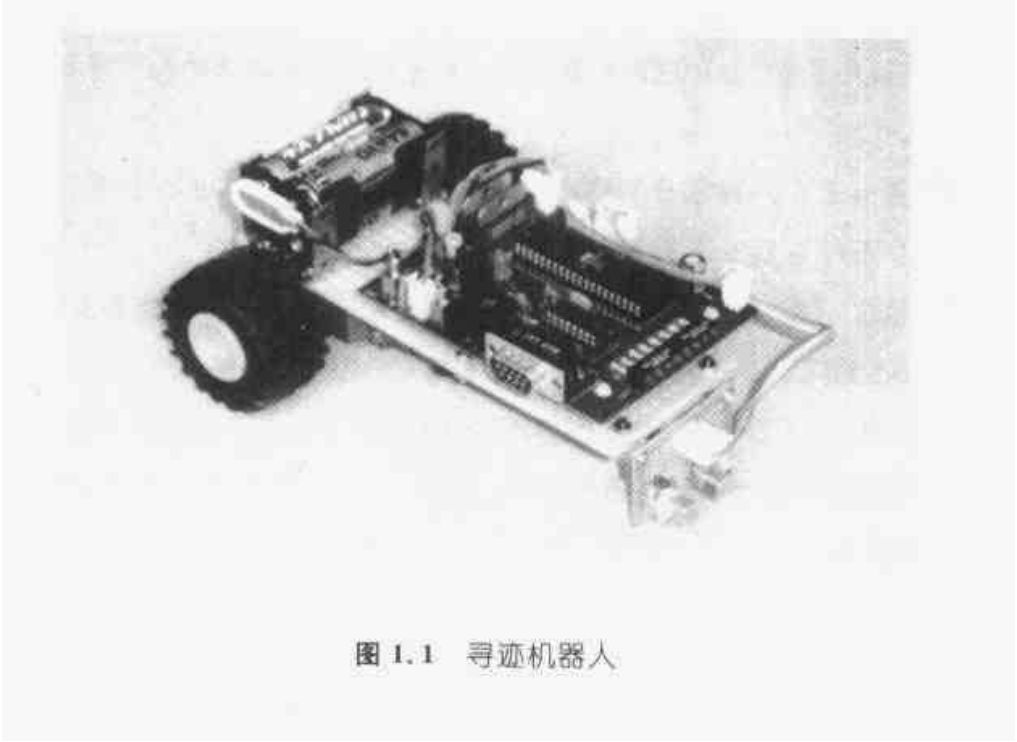


图 1.1 寻迹机器人

1.1 查询机器人大赛的信息

在高专读书的淳子,通过同学的介绍观看了电视台播放的机器人大赛。看后,她非常想参加。由于不知道报名参赛的方法,于是,找到了平时工作十分出色、从事电子技术工作并且对计算机也非常熟悉的孝志询问。

淳子:"看过前几天电视台播放的机器人大赛了吗?非常有意思,我都想参加了,但不知道应该怎样报名。"

孝志:"那个节目我也看了。挺有意思的,我也想参加。怎样报名我也不太清楚。不过,我们可以上网查一查。"

淳子:"怎么查呢?"

孝志："使用搜索引擎。"

淳子："搜索引擎？"

孝志："对，它能帮助我们找到想要查询的项目，只要在搜索项目栏中填写'机器人大赛'，它就会帮助我们查找相关的信息……"

当孝志从键盘上输入"机器人大赛"几个字后，机器人形状的搜索引擎就开始行动起来。没想到竟然找到 9 万条相关信息，看来这一赛事非常受欢迎。

孝志："这类大赛比我们预想的还要多啊，而且，各地（日本）的举办形式也是多种多样。"

淳子："除了有任何人都可以报名参加的大赛外，还有像在东京工业大学举办的校内大赛。不管怎样，只要按顺序查询，就会知道大赛的报名方法以及大赛的类型了。"

1.1.1 互联网

将多台计算机相互连接起来就构成了计算机网（图1.2）。像这样将多台计

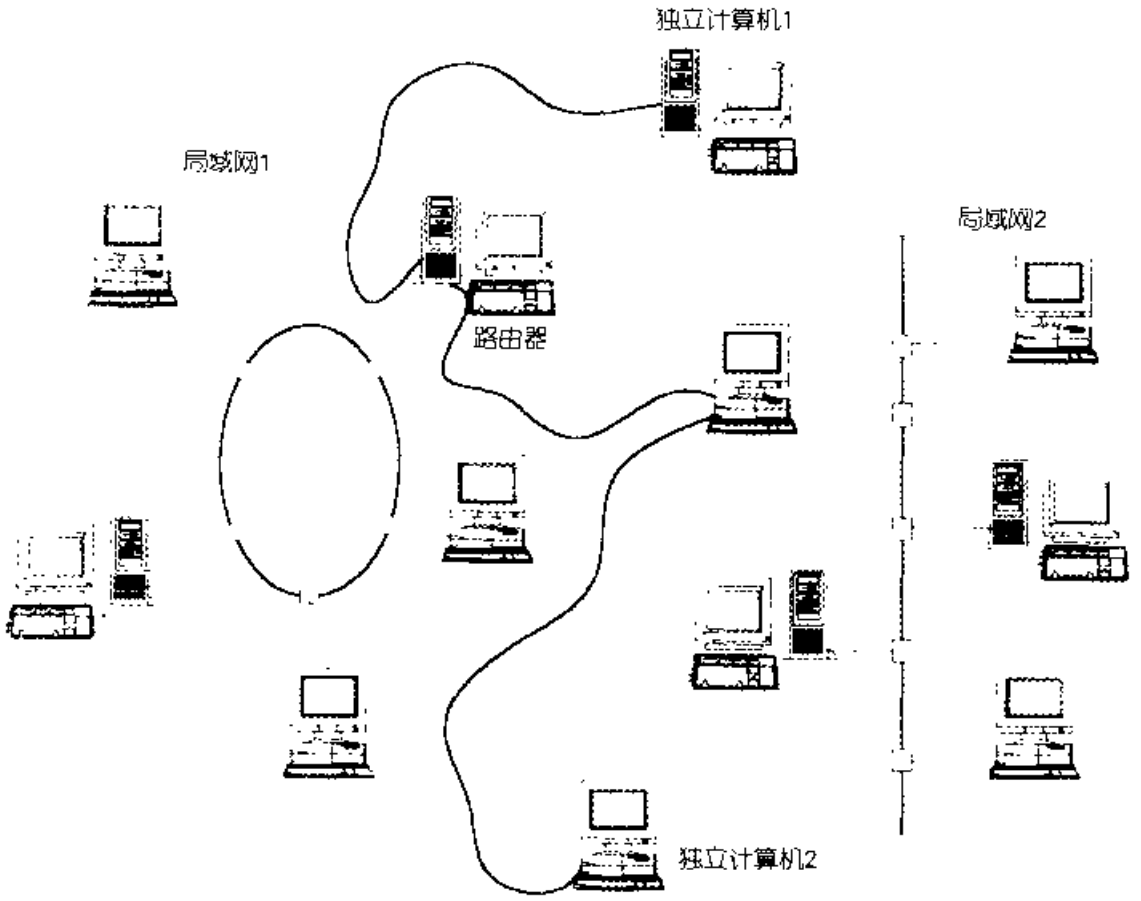


图 1.2 互联网示意图

算机相互连接起来后，不仅可以将信息从一台计算机传送到另一台计算机上，还可以使多台计算机共享信息。另外，还可以将一个大型程序进行分解，让多台计算机同时进行处理。从总体上看，这种做法与采用一台大型计算机独自处理时的效果几乎是一样的。

将多台计算机相互连接时，最常见的是将公司、住宅、学校等某一区域范围内的计算机相互连接起来。这种由较小区域范围内计算机构成的计算机网称为局域网(LAN:Local Area Network)。如果再将这种局域网，与各类独立的计算机相互连接起来，构成的计算机网就是互联网。现在，互联网已经成为一种表示将世界上所有的计算机都相互连接起来，构成的一种世界上任何人都可以利用的超级公共计算机网。

在互联网上可以利用的工具有，能够按各计算机制作的主页提供图像、声音、程序等信息服务的万维网(WWW:World Wide Web)，作为电子公告的网络新闻，可以在网络上收发书信的电子邮件(E-mail)，能够将程序等信息整理后进行大容量数据传送的 FTP(File Transfer Protocol)，以及在进入其他计算机时需要使用的工具 RLOGIN 等等。

1.1.2 LAN

将公司、学校等团体内的各个计算机相互连接起来，就可以实现各计算机之间的数据交换，而且还可以利用其他计算机的资源。这样构成的计算机网络称为局域网(LAN)。现在，在这种局域网中，计算机之间的相互连接方法多数采用以太网。以太网是一种由智陆公司和 DEC 等公司共同开发的 LAN 产品的名称，现在已经成为一种世界通用的标准。

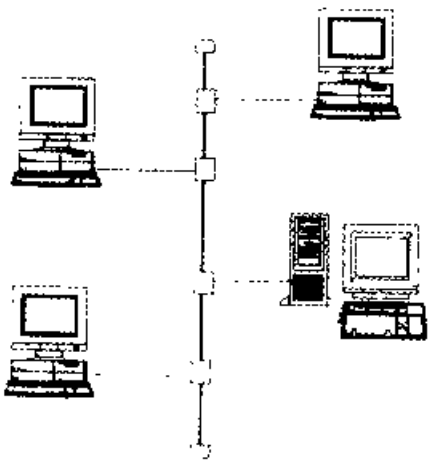
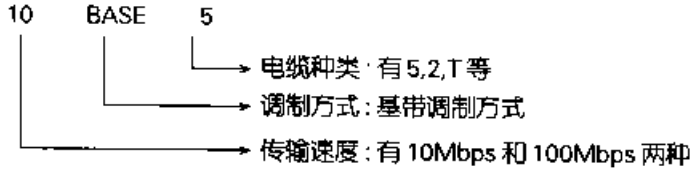


图 1.3 LAN 的示意图

以太网规定了各计算机之间，在进行数据交换时的数据传输速度(bps:b/s)、计算机之间不同的连线方式等信息交换的规则。



在图 1.3 给出的例子中，电缆种类的型号为 5，是指用直径为 0.5 英寸[1]的

1) 1 英寸 = 2.54 厘米，下同。

同轴电缆作为连接线。这是一种颜色为黄色或者偏黄的橙色电缆，因此，这种电缆也被称为黄色电缆。如果电缆种类的型号为 2，则指用直径为 0.25 英寸的同轴电缆作为连接线。如果电缆种类的型号为 T，则指利用同电话电缆相似的双绞线与称为 HUB 的中继器连接起来后，再与网内的其他计算机相连。

1.1.3 WWW

WWW 是英语“World Wide Web”的英文缩写。WWW 是一种能够在互联网上统一提供图像、文字、声音、动画等信息的服务系统，其目录页被称为主页。现在，WWW 已经成为人们在互联网上使用最多的一种服务系统。因此，在很多情况下，人们直接将 WWW 称为互联网。

能够将 WWW 信息在计算机屏幕上显示出来的软件称为网络导航器或者网络浏览器。在此类软件中，最典型的有网景公司(Netscape Communication)出品的网络导航器(Netscape Navigator)和微软公司(Microsoft)出品的网络浏览器。网络浏览器的界面如图 1.4 所示。



图 1.4 网络浏览器界面

在互联网上，除了可以利用 WWW 提供的服务之外，还可以利用电子邮件将书信发送给指定的人，可以利用 NEWS 向某一团体的所有成员发送通告，可以利用 FTP 将多个整理成文件的数据一同发送出去，以及利用 TELNET 进入其他的计算机，并将其作为自己的一个终端来执行程序等等。

1.1.4 搜索引擎

搜索引擎(Archie，参见图 1.5)，是一种能够帮助用户在互联网上查找想要了解的项目在哪个主页上的一种主页。当输入想要查找的项目并且按下“搜索”开关后，它就会将登载有相关项目的所有主页信息都显示在计算机屏幕上。

在查找时，用户可以同时设定多个查找项目，并以不同方式显示查找的结果。例如，既可以选择只显示那些包含了全部查找项目的主页，也可以选择将含有任一查找项目的主页全部都显示出来。前一种查找方式称为“与”(AND)

查找，后一种查找方式称为“或”(OR)查找。



图 1.5 搜索引擎界面

在搜索引擎的查找过程中，既有事先将各主页登载的项目进行整理、分类、登记并形成检索目录的目录检索型查找。还有一种是机械性地将全世界的各个主页都查找一遍，将含有关键字的主页全部在屏幕上显示出来的机器人型查找。目录检索型查找，适合查找如特定企业或个人的这种查找目标十分明确的情况。此外，由于它已将各主页按条目进行了归类，因此，具有一次就能查找出全部相关主页的优点。但是，在采用这种方式进行查找时，如果要查找的主页没有被登记，那么，即使其中含有要查找的内容(关键字)，这种主页也不会被查到。相反，机器人型查找是机械性地查找所有主页，因此，在查找过程中，需要查找很多主页，在屏幕上也会显示出很多不符合要求的主页。因此，当采用这种方式进行查找时，同时设定几个关键字，对要查找的目标进行筛选是十分重要的。

在采用目录检索型查找的搜索引擎中，最典型的是 Yahoo(http://www.yahoo.co.jp/)；在采用机器人型查找的搜索引擎中，最典型的是 goo(http://goo.jp/)。

1.1.5 机器人的类型

淳子：“在机器人大赛中，参赛的机器人被划分成自律型和遥控型，它们之间有什么不同？”

孝志：“像相扑机器人、穿越迷宫的迷宫机器人、沿着规定的路线移动比试谁能最先到达终点的寻迹机器人，都属于自律型机器人。”

淳子：“这么说，参加 NHK 播放的高专生机器人大赛和机器人足球赛的机器人都属于遥控型了。不过，在参加相扑大赛的机器人中，好像也有遥控型的。”

孝志：“是啊，那么自律型机器人的共同之处是什么呢？啊，对了，无论参加哪种大赛，这类机器人都能自主地行动。当比赛开始后，选手就不能再去触摸机器人了。”

淳子：“这么说，自律型机器人就是指那些以计算机作为自己的大脑，不需要人的干预就能够独立行动的机器人了。”

孝志："对呀！这样一来，我们就清楚什么是自律型机器人了。那么，在比赛中靠人操纵的就全都是遥控型机器人了。在比赛的过程中，它们需要由人通过有线或无线的方式进行操纵。"

淳子："好了，机器人的类型已经搞清楚了。接下来，让我们查一查都有什么样的机器人大赛吧。"

于是，他们接着查看了几个相关的机器人大赛。

1.1.6 迷宫大赛

迷宫大赛是从 1980 年开始举办的，也是机器人大赛中历史最悠久的赛事之一。迷宫机器人属于自律型机器人，内部装有传感器和微处理器。迷宫大赛是一种比试哪个机器人能以最短的时间穿过迷宫到达终点的竞赛。

迷宫的形状及竞赛方法 迷宫的大小为 3 m × 3m，其中的通道宽度为 18cm，线路形状由举办方事先确定。比赛时，机器人要从迷宫 4 个边角中的某一点出发，测量它到达终点（迷宫中央）所花费的时间。在比赛过程中，允许每个机器人在 10 分钟内跑 5 遍，取其中的最短时间作为比赛成绩。

搜索前进 由于赛前并不知道迷宫的线路，而且当线路公开后也不允许选手将线路的通过方法输入给机器人，因此，机器人必须具备自己识别迷宫路线的能力。通常，在跑第一遍时，机器人要将迷宫中所有岔路一个不漏地都跑一遍，以了解线路的形状，然后，计算出应该选择的路线和行进的速度。

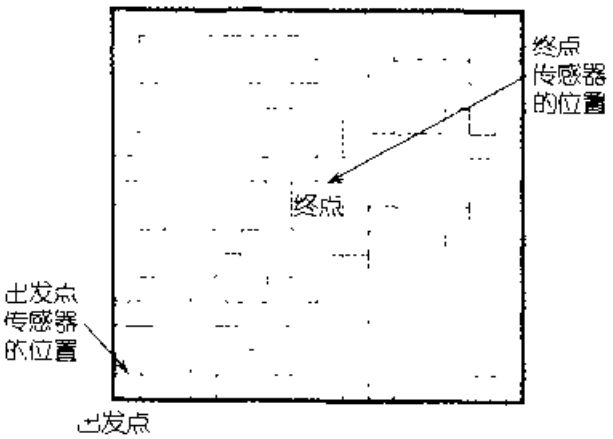


图 1 6 第 10 届大赛（1989 年）的决赛线路

穿越计时 根据在前面搜索前进中计算出的行进路线，全速冲到终点。

机器人要根据搜索前进中识别的结果，计算出最佳路线。最佳路线的确定方法是决定比赛胜负的关键。如果计算出的路线距离虽短、但拐弯的次数比较多，那么，到达终点的时间就会相应地增加。

1.1.7 相扑大赛

相扑大赛是一种以将对方机器人推出比赛场地为目标的竞赛。参加比赛

的机器人分为自律型和遥控型两种。

比赛场地是一个直径为 154cm 的圆台，上面铺有硬质橡胶，在场地边界处还画有一条 5cm 宽的白线(图 1.7)。

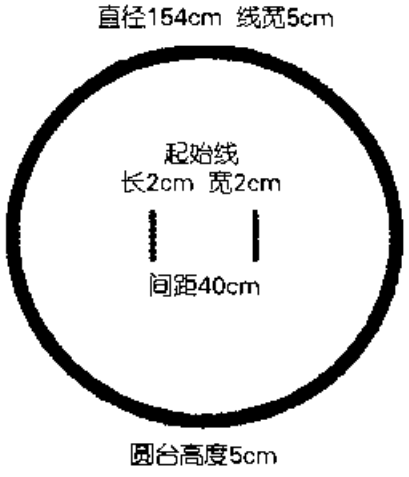


图 1.7 比赛场地

比赛方法 采用在 3 分钟内 3 本定胜负的方法。在规定的时间内，先得 2 本的一方获胜。如果在规定的时间内，没有任何一方取得 2 本，例如成绩为 1：0，那么得 1 本的一方获胜。如果成绩为 0：0 或 1：1，则由裁判判定最终成绩，或者再进行 3 分钟的加时赛。在记分规则中，将对方机器人推出场外；对方机器人自己跑出场外；对方犯规 2 次或者被取消比赛资格，本方都可以获得 1 本。

机器人 参赛的机器人在大小、重量上都有明确的限定。大小限制在长、宽都不得超过 20cm，高度没有限制。机器人的重量被限制在 3kg 以内。

在参加相扑大赛的机器人中，分为遥控型和自律型两种。遥控型机器人是由人采用比例遥控器来操纵机器人的行动。自律型机器人是在机器人的内部搭载有计算机和传感器，由机器人自己通过判断来确定应该采取的行动。参加自律型比赛的机器人，在比赛开始后就不允许选手再去触摸机器人。

要制作厉害的机器人，“力气大”、“能快速、准确地判断出对方的意图”、“能比对手更快地采取行动”等等，这些性能都非常重要，参赛的机器人都为此下了很大的功夫。此外，还有一点也很重要，这就是要保证制作的机器人能无故障、切实可靠地行动。

1.1.8 创意-机器人大赛

这一赛事是从 1988 年开始举办的，到 1999 年已经举办了 12 届。这是一种面向高专在校生，比试创意的机器人大赛。NHK 每年都会播放这一赛事。在举办初期，它是一种在规定的条件下比试创意和制作技术的竞赛，近来已演变成一种遥控型机器人的竞技项目。这一赛事将重点放在发挥选手的“奇思妙想”和“想像力”上，让选手“用自己的头脑去思考，用自己的双手去创造”。下面，介绍一下迄今为止这一赛事的部分竞赛内容。

第 9 届大赛 “灵巧的牛仔”是一种采用遥控型机器人进行的套圈比赛。在比赛过程中，要将自制的圆圈套到 9 个大小不同支架上。

第 10 届大赛 “花开蝶来”是一种每组有两队参加的对抗赛。在赛场中央，放置有 2 个带有雌蕊的大培育箱，周围放置 8 个同样的小培育箱(图 1.8)。在比赛的过程中，各队要将自制的花卉种植在培育箱上使其开放。如果哪一方争得到大的培育箱，就可以放飞蝴蝶将对方开有花朵的培育箱据为己有。胜负由此项得分，外加花朵形状以及获得的其他艺术分之和来确定。

第 11 届大赛 “生命的登陆”是一种让自制的生命在 10 个岛屿上登陆、诞生的对抗赛(图 1.9)。在 3 分钟之内，各队要将装载在机器人上的自制“种子”和“卵”，投到或滚至场内的岛屿上，让“生命”在这些岛屿上诞生。如果诞生的生命能够停留在岛屿上，就可以得到相应的分数。场地内共有 10 个大、中、小不同的岛屿。

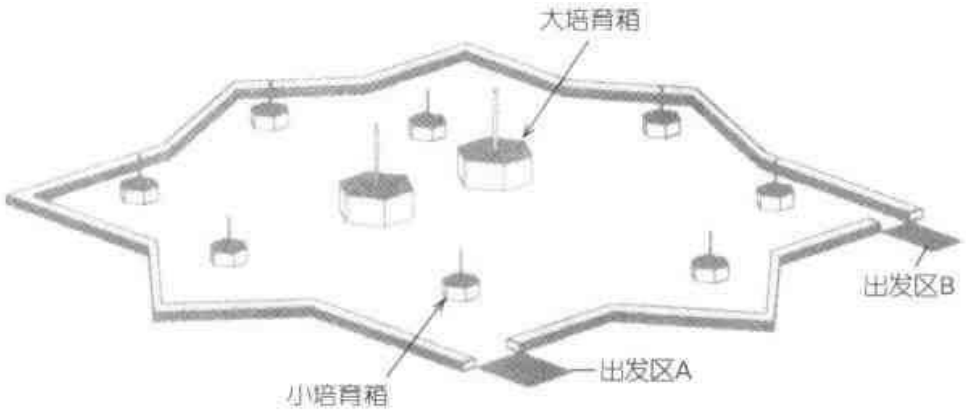


图 1.8 第 10 届大赛的竞赛场地

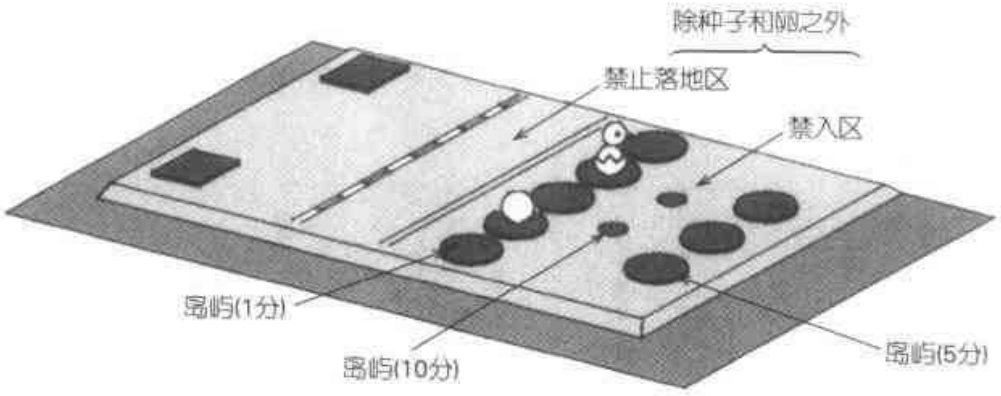


图 1.9 第 11 届大赛的竞赛场地

1.1.9 智能机器人大赛

这一赛事是以日本东北大学研究生院信息科学专业为主办单位，每年夏季

在仙台举行的一种机器人大赛。这一赛事的最大特点，是参赛的机器人要具有视觉识别能力。在比赛的过程中，机器人要将形状各异的多种物品聚集分类后，装入到相应的球门中(参见图 1.10)。这是一个具有相当难度的课题式竞赛。一旦比赛开始后，选手就不能再用手去触摸机器人，一切都要靠完全自律的机器人自行处理。1999 年度的竞赛内容如下：

竞赛内容 比赛开始时，工作人员会交给选手一个白色的网球。机器人要将这个球和图 1.11 中所示的散乱在比赛台上的 4 个空罐、4 个装有物品的肥皂盒，以及 7 个网球识别出来，尽可能多地将它们分别装入到指定的球门中。在比赛的过程中，机器人动作的技术性和观赏性也计入比赛成绩。比赛的时间为

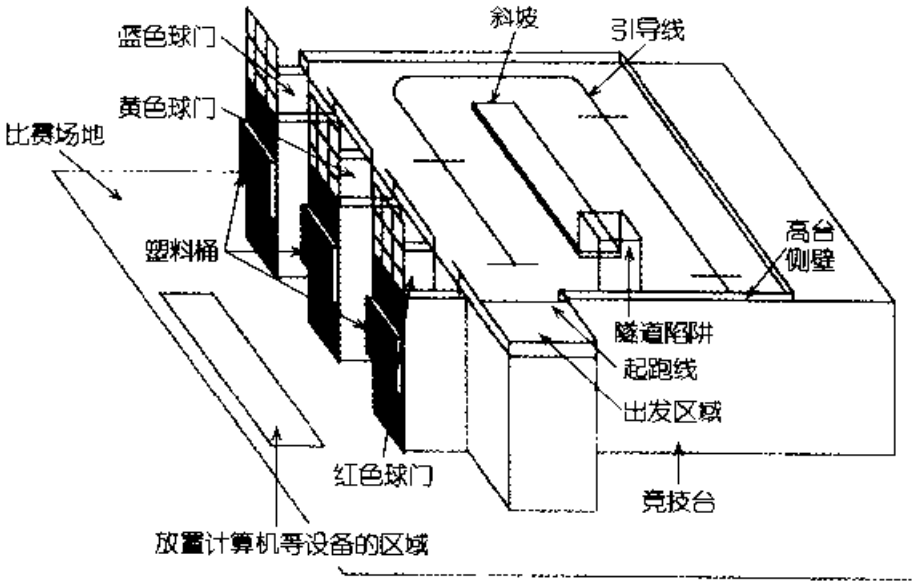


图 1.10 智能机器人大赛赛场示意图

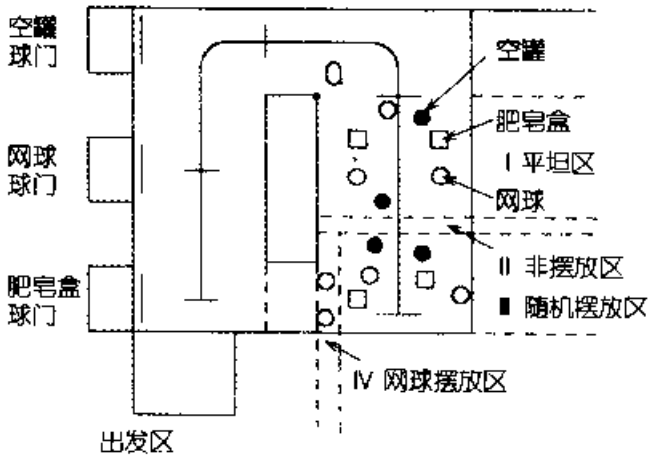


图 1.11 场地中物品摆放位置说明图

预赛 5 分钟、决赛 10 分钟。在比赛开始时，选手可以选择将白球直接放到机器人上，也可以选择将白球放到场地之中。

机器人 机器人的大小被限制在 45cm × 45cm × 45cm 的范围之内，重量限制在 20kg 之内。另外，计算机可以搭载在机器人上，也可以放在场外，通过电缆与机器人相连。

1.1.10 山梨机器人大赛

在各地举办的机器人大赛中，有很多都是地方性的。其中，在山梨县就有从 1993 年开始举办的“山梨机器人大赛”。山梨县的机器人产量位居日本第一，被称为“机器人王国”。

这一赛事是为了提高青少年对科学技术的兴趣而举办的。自第一次举办以来，赛事都是在每年的深秋时节举行。山梨机器人大赛分为多个组别，它们分别是中学组、高中甲组、高中乙组、大学-普通组、自由参加组。1998 年度各组别的竞赛内容如下：

中学组 这是一种每小组有 2 队参加的遥控型机器人对抗赛。在规定的时间内，机器人要将放置在网球场内的海绵运送到得分区，运送数量多的队获胜。场地内的海绵总数为 16 个。

高中甲组 这也是一种每小组有 2 队参加的遥控型机器人对抗赛（图 1.12）。它将整个网球场分成两部分，在每侧3m见方的场地内，都摆放有12个橡

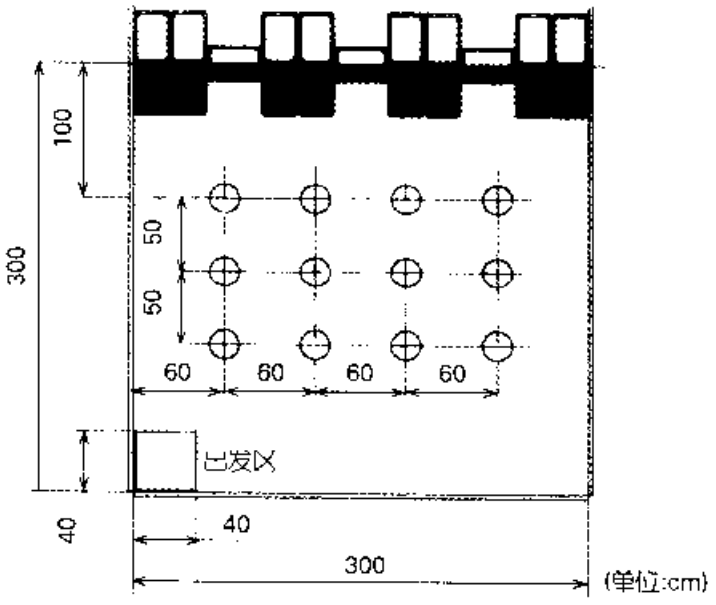


图 1.12 高中甲组比赛场地

胶球。比赛开始后，各队要将自己场地内的橡胶球装入到位于双方场地交界处的 8 个箱子中。每装入一个球，可以得 1 分。90 秒后双方交换场地，上、下半场的得分之和就是该队的最终得分，得分多的队获胜。



图 1.13 比赛现场

高中乙组 参赛的机器人为自走型机器人。在比赛过程中，要将放置在出发区域内的网球，每次一个地运送到球门中。在出发区域之外，不允许选手触摸机器人。

大学-普通组 在比赛的过程中，机器人要越过跨栏比赛用的横杆(hurdle)，最先到达终点的机器人为获胜方。预赛采用个人计时赛方式，从中选取用时最短的 4 个队参加半决赛。由半决赛的优胜者参加决赛。最先到达终点的获胜方就是该组别的冠军。

自由参加组 这是为了使任何人都能轻松参与而设置的一个类别。参赛的机器人要求制作简单，禁止复杂的加工。比赛采用淘汰赛方式，每小组由 2 台机器人比试剑道。在比赛的过程中，如果一方的竹刀(尖端 2cm 部分)连续击中对方 1 秒以上，传感器就会发生反应从而可以得 1 本。先得 2 本的一方获胜。按照上述的比赛方式，冠军队可得 10 分，亚军可得 7 分，两个并列第 3 名各得 4 分。此外，机器人的造型也记入比赛成绩(满分为 10 分)。最后，根据总成绩排列出比赛名次。

在 1998 年度的参赛队伍中，中学组有 90 队，高中甲组有 27 队，高中乙组有 18 队，大学-普通组有 2 队，自由参加组有 3 队。

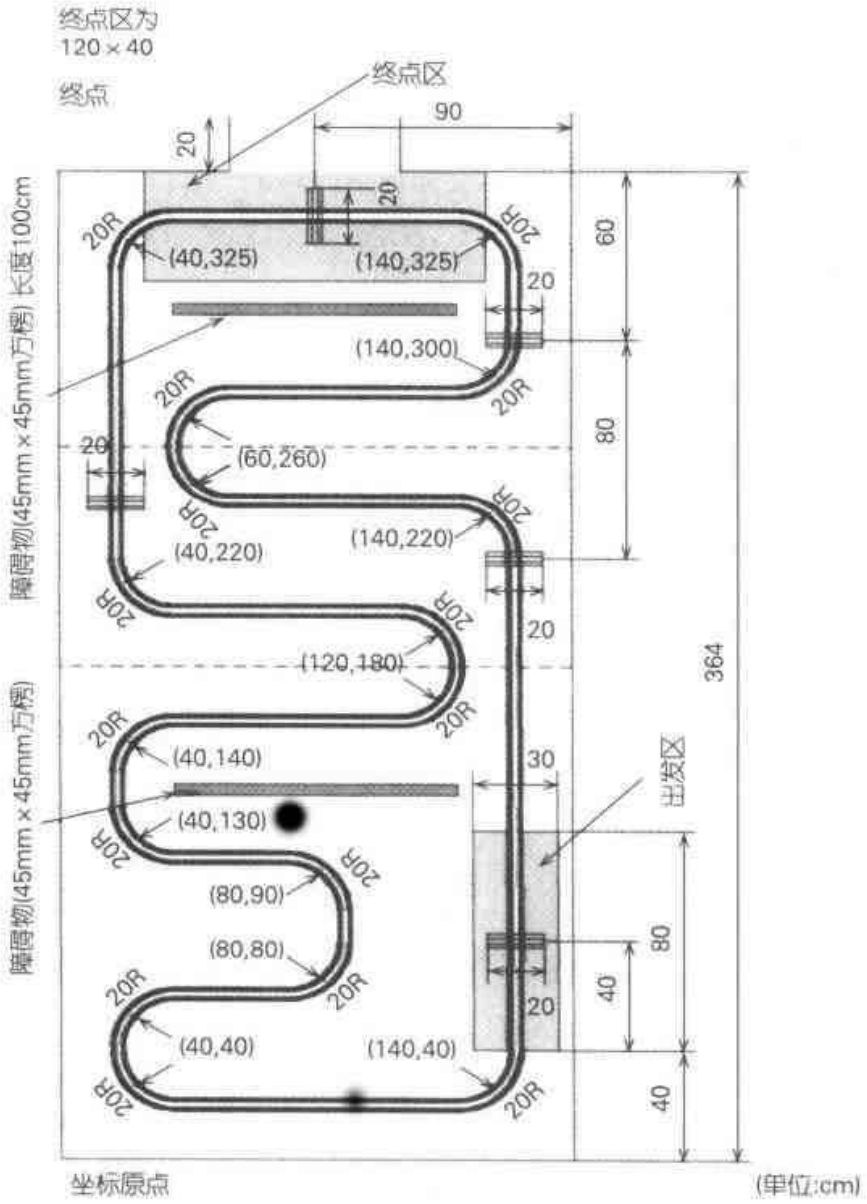


图 1.14 高中乙组比赛场地

1.2 机器人构成要素之一——机械部件

刚刚制作完成的机器人，往往不能完全按照预想的方式运行，通常都会存在这样那样的问题。因此，刚刚制作好的机器人还需要经过多次修改、训练、调整，才能最终定型。在这一过程中，对于机器人中的每一个零部件，都要进行仔细的检查。要充分发挥制作者的全部聪明和才智，不断地思考机器人为什么不能实现预想的动作？原因何在？是因为各零部件之间存在间隙，还是因为在这

些间隙中夹入了杂物，或者是因为某一零部件发生了一点点的弯曲等等。与制造实际的机器一样，修改调试阶段是非常重要的，同时也充满了无穷的乐趣。这一阶段不仅仅是更换一两个零部件，它还汇集了制作者的各种改进和思考。这些充满自信的改进与思考，是保证制作出具有独一无二性能机器人的关键。在机械的世界中，含有很多无形的技术，机器人的世界也是如此。在这一过程中，可以充分感受到发现并解决问题的快乐。

能够运送球类，或者能够将指定的物体投入到得分区中的机器人，是一种具有明确任务、能够熟练完成某种工作的出色机械。因此，对于那些动作不到位，或者多次运行才能成功一次的机器人，只能说它的水平还很低。阅读本书的读者，不应仅仅停留在制作出这种机器人的水平上，还应该更进一步地去思考，制作出更加完善的机器人。现将机器人制作的要点归纳如下。

为了使制作的机器人能够更准确、更可靠地运行，需要不断地对它进行改进。为了能够提高机器人的工作效率，需要认真地研究应该采用怎样的结构。为了使机器人的结构更简单、操纵更加方便，需要不断地改进和思考。此外，还要去除多余的棱角及多余的部件。

在刚开始制作机器人的时候，为了提高机器人的移动速度，很多人都会采用功率较大的电机。这样一来，常常会导致机器人在指定的位置上停不住，其结果反而降低了机器人的有效速度。因此，在制作机器人的过程中，首先要从总体结构上保证机器人能够可靠地工作，这是设计与制作的首要问题，也是机器人的生命。其次，要提高机器人的工作效率。显然，与每次只能运送一个球的机器人相比，每次能运送两个球的机器人，其"目标作业"效率要高一些。再有，要简化机器人的结构。如果机器人的结构简单，那么，发生故障时就能很快地排除，更换零件也不需要花费太多的时间。大家都知道，在汽车大奖赛的顶尖赛事 F-1 中，零部件的更换是在瞬间完成的。F-1 是汽车技术的巅峰，它始终追求具有高性能的简单结构，其中含有很多除"马力(功率)"之外的技术。如果能制作出与之相似的机器人，并且由非常熟悉它性能的人去操纵，在比赛中就一定会获胜。下面，就开始介绍在机器人的制作中，经常采用的各种机构及其零部件。

1.2.1 减速机构

大家都知道，电机是机器人的心脏。如果只给电机接上电池，变速箱之类的任何负载都不接，它就会以非常高的速度进行旋转。即使是模型用的电机，也能达到 6000r /min。这么一想，如果将车轮直接与它相连，机器人就应该能快速如飞，但事实上却并非如此。在直接相连的情况下，电机输出的转动力很小，

只要用手指轻轻地抓住旋转的机轴，就可以使它完全停下来。通常，在工业电机中，其内部都会装有齿轮。有的电机为了保证能够输出很大的转动力，不惜降低电机的转速。关于电机的详细情况将在后面介绍。在这里，首先介绍通过降低电机转速，提高负载能力的减速机构。

大家都知道，当我们踩动自行车的脚踏板时，自行车的车轮就会转动起来。通过采用特殊的机构，还可以使多个车轮同时转动。赛车(自行车)和山地自行车等很多车辆，都是通过链条将大小不同的链轮连接起来，从而构成能够产生多种不同转动力的机构。也就是说，通过大小不同的链轮组合，就可以改变车轮的旋转速度。在制作机器人时，如果在电机转轴上安装一个小的齿轮，在车轮的轴上安装一个大的齿轮，这样一来，车轮的转速就比电机的转速慢很多，但它输出的转动力却要比电机的大很多。即使是采用同一电机做动力源，如果采用不同的齿轮组合，就会得到不同的效果。其规律如下：

齿轮的转速越快，输出的转动力就越小；而齿轮的转速越慢，输出的转动力就越大。

将多种齿数不同的齿轮组合在一起，构成能够输出不同转动力的机械装置称为齿轮箱，也称变速箱。在模型店中，出售很多种类的变速箱。有的变速箱虽然输出速度很低，但输出的转动力却并不大。因此，希望大家再多读些这方面的书籍，在掌握一定的相关知识之后再去购买。

1.2.2 移动机构

确保机器人能够按操纵者的意图移动，也是制作机器人的一个要点。为此，制作的机器人需要满足如下条件(图 1.15)：

- 在前进的过程中不会发生翻滚；
- 能按直线方式前进或后退；
- 能以尽可能小的半径实现向左或向右转弯；
- 能与遥控器发出的指令同步，快速地前进或迅速停止。

能否按指定的朝向在目标位置上立刻完全停下来，也是衡量机器人性能的一个重要指标。在制作的过程中，如果片面地通过改变齿轮的变速比来提高机器人的移动速度，那么，遥控器只要受到瞬间的操纵，机器人就会移动很长的距离。这样做的结果，会导致机器人很难在指定的目标位置上立刻停下来。因此，在制作机器人的过程中，第一个要考虑的问题，就是要对机器人实施确实、可靠的控制。其次才是追求机器人的速度。另外，选择与赛场地板材质和赛场状况相适合的移动方式也很重要。因为比赛场地并不都是平坦的，场地中可能设置有障碍物，不同的赛场，其场地的地板材质也不尽相同。在实际制作的过

程中，根据赛场的具体情况，可以选择直径不同的车轮，也可以采用履带式车轮。

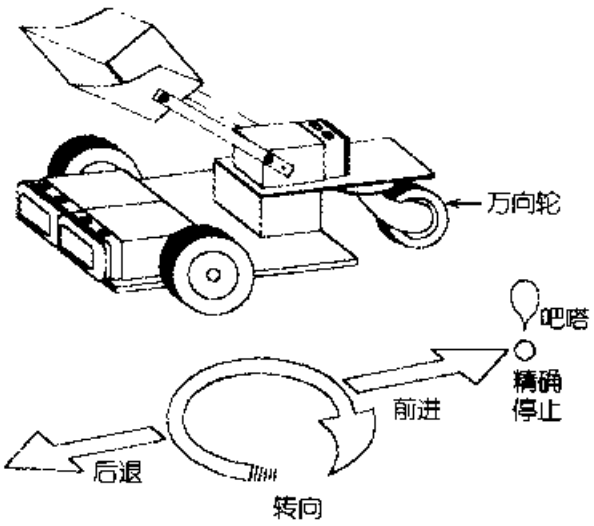


图 1.15 决定机器人性能的四个要素

如果能从结构上保证制作的机器人具有很小的转弯半径，就会使它在很多方面显示出优越性。例如，如果采用战车式的履带车轮，就可以实现原地转弯。如果在结构上采用两个车轮，外加一个万向轮作支撑，也会使机器人具有较小的转弯半径。相反，如果采用汽车那种通过改变前轮方向来实现转弯的结构，其转弯半径会很大。采用这种结构，几乎没有什么长处而言。在设计机器人时，车身的高度也很重要。要充分考虑由于车身过高带来的影响，以避免在碰到障碍物、球等物体时造成的翻倒。

1.2.3 改变旋转方向

机器人的所有运动，都是通过对电机的转动进行某种变换后获得的。通常，都是从纵向旋转的电机轴上先引出一个水平方向旋转的转轴，然后，将自己设计的变换结构连接到这个水平的转轴上，从而获得预想的运动形式。为了设计并制作出能够实现这种变换的结构，需要具备很多的知识，接下来，让我们参考图 1.16、图 1.17 进行解释说明。

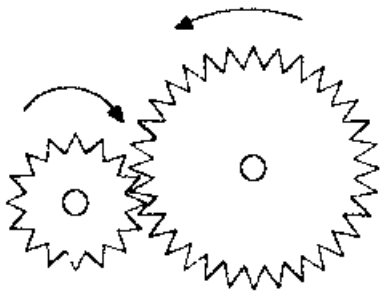


图 1.16 齿轮组合结构 1

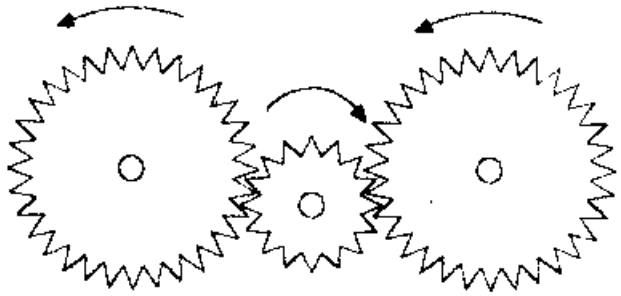


图 1.17 齿轮组合结构 2

如果需要获得与电机旋转方向相反的转动，可以采用如图 1.16 所示的两

个齿轮直接啮合的结构。采用这种方法，两个齿轮的旋转方向就会反向。如果在这两个齿轮之间再加入一个齿轮，构成如图 1.17 所示的结构，则原来两个齿轮的旋转方向就会变得相同。在上面的两组结构中，如果两个齿轮的齿数相同，则它们的转速就相同。如果一个齿轮的齿数为另一个的一半，则它的转速就为另一个的两倍。

当需要得到与电机旋转方向成直角的转动时，需要采用特殊类型的变速箱。在这种变速箱的内部，一般都会装有圆锥齿轮或者是螺旋齿轮。另外，即使不采用变速箱，通过皮带和皮带轮，也可以获得相反方向，或者不同轴向的转动(参见第 3 章的零部件)。

如果使用的减速装置只是为了传递运动，或者用来驱动简单的机构，那么，直接采用模型店出售的变速箱既简单又可靠。如果需要自制齿轮组合，那么，在加工齿轮轴的固定孔时，一定要做到位置精确，以保证两个齿轮的啮合间隙适中。这是一项比较令人头疼的工作。如果啮合过松，则齿轮容易磨损；而啮合过紧，齿轮又难于转动，传递出来的力量就会降低。现成的变速箱，在这些方面都经过了精密的调整，使用起来非常方便。能否以比较小的损耗，将电机产生的转矩传递出去，对于机器人来说影响很大，它直接关系到机器人的性能。即使制作的机器人具有相同结构，但由于制作者不同，其性能也会不同。

1.2.4 曲柄机构

如果从减速变速箱的轴上引出一个长轴，那么，当变速箱产生转动时，这个轴就会随之发生转动。从外观上看，会使人感到像是机器人在摇动肩膀。仅仅采用这种机构，利用长轴在水平方向的转动，就可以制成将物品放下的机器人。

如果在这个长轴的前端开一个孔，再连接一个连接柱，那么，随着长轴的转动，连接柱就会产生不一样的动作。利用这个连接柱，就可以将电机的旋转运动变换成往复、上下等多种形式的运动。它是构成各种非旋转运动的源泉。我们将这种机构称为曲柄(图 1.18)。小曲柄，可以在很小的空间内构造出具有很强功能的机构。大曲柄，可以构造出能在很大空间内快速运动的机构。由于曲柄一般都要承载很大的力矩，因此，在制作的过程中，一定要采取完善的防滑措施。

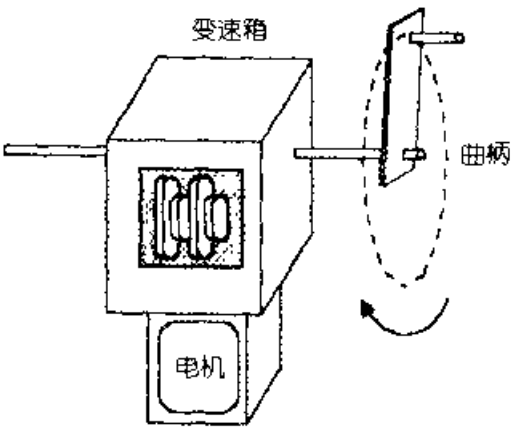


图 1.18 曲柄与变速箱

1.2.5 将转动变换成往复运动

如果只是为了驱动车轮或履带，仅采用变速箱便可以实现。如果要完成能将物体抓住、松开，或者是将物体拿起、放下这样的动作，仅靠旋转机构是无法实现的。这时，就需要采用能够实现往复运动的机构。

在变速箱的输出轴上，连接一个能够转动的曲柄，并按图 1.19 所示的方式，连接到带有导轨的长杆上。这样一来，就可以构成一个能够实现往复运动的机构。当曲柄转动时，长杆 A 就会在导轨上实现往复运动。由此可以看出，通过曲柄就可以将转动变换成其他复杂形式的运动。如果你周围有挖掘机或者推土机，不妨去看一看。观察一下曲柄的连接方式，相信一定会得到很多有用的信息。这种通过曲柄产生不同动作的机构，称为曲柄滑块机构。如果在滑块部件上开一个槽，在槽内装上一个固定销轴，这个槽就能起到导轨的作用。图 1.20 所示的结构，是通过两个滑块与曲柄组合，制成的一种能够实现在直线上作往复运动的一种机构。像这样通过多种零件的不同组合，就可以制作出能够实现各种运动形式的机构。上述两个例子的结构都比较简单，如果将多种这类机构组合起来，就能构造出满足各种运动要求的机构。

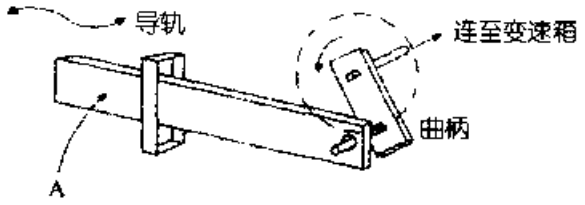


图 1.19 用曲柄构成的往复运动机构



图 1.20 往复运动机构的应用

1.2.6 凸轮机构

如图 1.21 所示，如果在转轴上安装一个椭圆形的零件，并在其上面放置一个摆杆，那么，当转轴转动时，摆杆就会产生上下运动。如果将椭圆形的零件削去一半，那么，当转轴转动时，这个机构就会产生缓慢上升、快速下降的运动。这种机构称为凸轮机构(图 1.22)。在一般的往复运动机构中，所产生的往复运动都是比较平缓的；而凸轮机构的最大特点，是能产生不均匀的往复运动，其运动具有一定的突变性。凸轮的结构比较简单，但是，为了使凸轮上的摆杆不脱落，需要在凸轮的周围加入必要的固定装置。

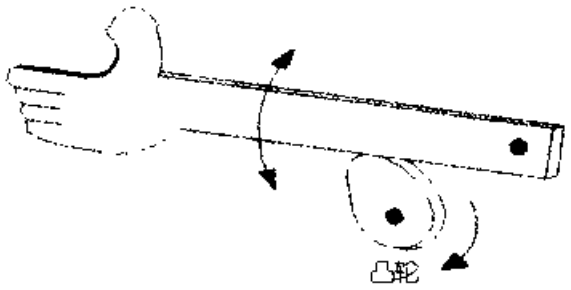


图 1.21 凸轮机构的结构

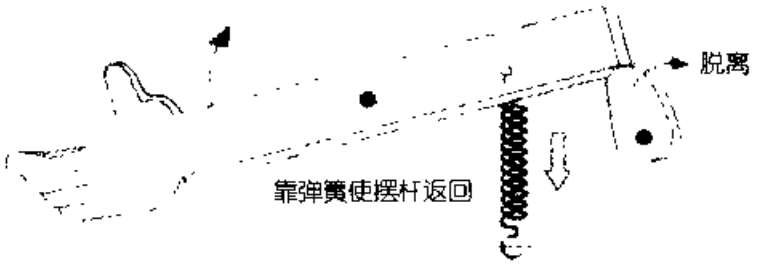


图 1.22 能产生上跳运动的凸轮结构

1.2.7 链传动机构

采用皮带传动机构，可以将转动传递到距离稍远一点的地方。但是，由于橡胶皮带具有伸缩性，且容易打滑，因此，采用这种机构，不能可靠地实现运动传递。当需要实现可靠的运动传递时，可以采用同自行车链条相似的机构来实现。这种机构称为链传动机构(图 1.23)。它的结构同我们在进入地下洞穴时使用的软梯相似。同前面介绍的几种机构相比，由于链条可以实现较大范围内的传动，因此，当需要向高处搬运物品时，采用这种机构是十分有效的。在采用这种机构的时候，有一个问题需要注意。那就是随着链轮之间的距离增大，支

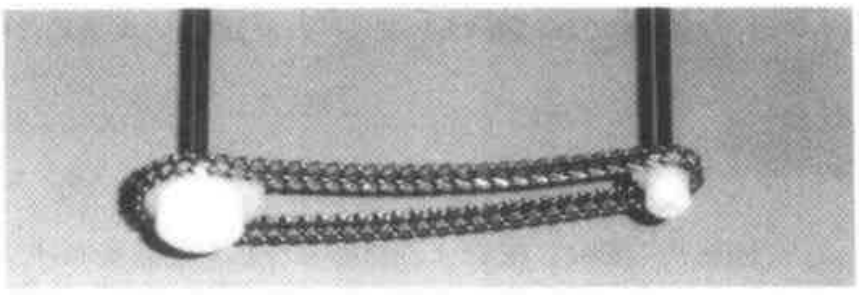


图 1.23 链传动机构

撑件容易弯曲。为了避免发生这种现象，需要提高支撑件的强度。另外，当机器人的长臂前端需要动力时，只要在关节轴的适当位置上安装一个链轮，再用链条与变速箱相连，就可以实现动力的传动。大家想一想，是不是这样。在使用链传动机构时，只要保证链条不下垂，就可以防止链条脱落。

1.2.8 同步带机构

当需要传递动力时，通常都会采用皮带、滑轮或者链条。然而，当采用这些零件进行传动时，常常会产生零件打滑、振动以及产生噪音。这些机构很难像齿轮那样，按规定的角度，准确地进行传动。然而，如果采用齿轮传动，就需要制作精密的变速箱。能不能找到一种性能介于这两者之间的机构呢？答案是肯定的，同步带和同步带轮就是一种能够满足这样要求的机构。

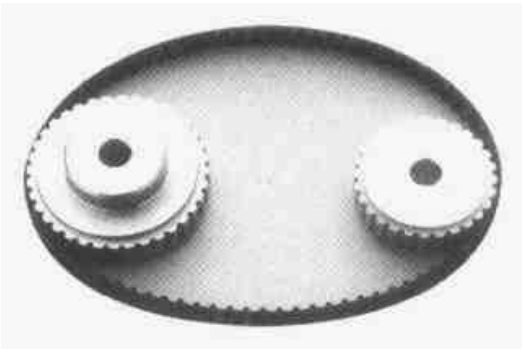


图 1.24 同步带

同步带轮/同步带的结构如图 1.24 所示。在同步带和同步带轮上都带有齿形。同齿轮一样，它们是通过齿间相互啮合来实现传动的。从这个意义上说，同步带更接近于齿轮机构。但是，这种同步带轮/同步带机构对轴之间的距离要求却并不是很高。为什么会如此，这是由于同步带比较柔软，通过移动如图 1.25 所示的张紧轮，就可以在不改变两轴间距的情况下，调节同步带的松紧程度。当采用这种机构传动电机的转动时，也可以通过向前或向后移动电机固定位置的方法，调节同步带的松紧程度。通常，在实际中使用时，

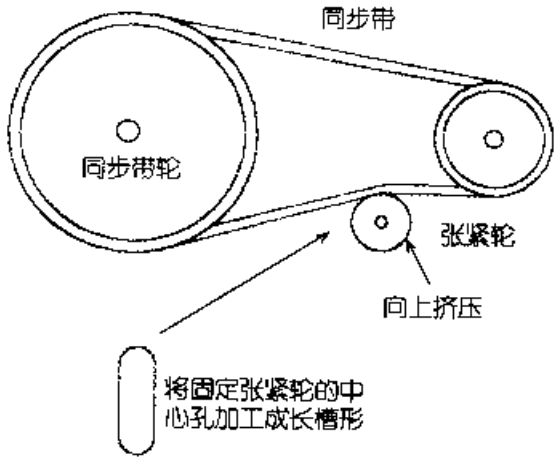


图 1.25 调节同步带松紧的方法

都是采用一个张紧轮来调节同步带的松紧，并且将固定张紧轮的中心轴孔加工成一个长槽形。这么做是由于张紧轮上一般都装有轴承，如果采用固定式的轴孔，张紧轮就不能移动，也就不能起到调节同步带松紧的作用了。

在同步带轮/同步带产品中，根据齿间距（节距）的不同，产品分为多种型号。按节距从小到大的顺序，产品被命名为 MXL、XL、L 等不同的型号。在制作大赛机器人时，使用最小型号的 MXL 类产品就足够了。同步带轮和同步带的齿数也有多种类型。一般来说，同步带轮的齿数为 10～120，同步带的齿数为 39～694。由于 MXL 型号的标准节距为 2mm，因此，通过乘法运算，很容易得出所需同步带轮的齿数以及同步带的长度。

1.3 机器人构成要素之二——电气电子部件

机器人的基本结构——相当于人体骨骼、手、脚等部分，都是由机械系统构成的。然而，机器人的运行与停止、环境检测与判断等处理工作，需要运用电气的方法来完成，否则很难实现。换句话说，在机器人中，电气部分充当着机器人的动力源、眼睛、耳朵、触觉、大脑的角色。下面，将介绍相关电气要素中的一些基本知识。

1.3.1 电 机

电机是一种机器人中最常使用的动力源。它的种类很多：

- 直流电机
 - 并励式直流电机
 - 串励式直流电机
 - 复励式直流电机
 - 永磁式直流电机
- 交流电机
 - 异步电机
 - 步进电机
 - 同步电机

直流电机是由直流电驱动的电机。除永磁式直流电机外，其他类型的直流电机在交流下也能工作。由于直流电机的起始转矩非常大，所以，常常被用作电钻、轻轨列车等设备的驱动电机。直流电机是一种性能优异的动力源。它具有很多优点，但结构稍微复杂些，换向器容易受损、寿命比较短。直流电机的优点如下：

- 启动时的转矩（也称启动转矩）很大。
- 当电机的载荷增大时转速就会降低，输出的旋转力将随之增大。这个

增大了的旋转力，具有驱使电机恢复至原来转速的功能。

· 输出转矩与流过电机的电流成正比。

交流电机是一种只能由交流电驱动的电机。交流电机的结构简单，内部几乎没有像换向器之类的易损性零部件，维护也十分简单。交流电机的转速，可以通过调节交流电源的频率加以改变。在变频空调中，通过调节被称为变频器的交流发生器的频率，就可以改变电机的转速。此外，在电机中，还有一种电机称为步进电机，它同计算机的相容性非常好。

1.3.2 电 源

参加比赛的机器人，几乎都是靠电力驱动的。因此，对于机器人来说，提供电力的电源就非常重要。根据比赛类型的不同，有的机器人必须将电源嵌入到机器人的内部，有的则可以通过导线由外部提供。无论哪种情况，都可以采用电池作为机器人的供电电源。

在电源中，既有不经过任何处理、直接将电源提供给用电器的非稳压电源，也有先通过电子线路将电压调节到一定范围后，再提供给用电器的稳压电源。在使用非稳压电源时，随着电源输出电流的增加，输出电压将会降低；相反，随着电源输出电流的减少，输出电压就会升高。因此，非稳压电源多用于电机之类对电压要求不高的场合，即使电压有些变化，也不至于影响用电器要完成的工作。在计算机和电子线路中，为了保证电路能够正常地工作，应尽可能地使用稳压电源。

稳压电源
- 降压式稳压电流
- 开关式稳压电流

根据稳压原理的不同，稳压电源分为两种类型。一种是降压式稳压电源。它输出的电压波形非常干净，稳压效果也比较理想。但这种稳压电源的转换效率比较低，只能将输入电能的60%～70%左右转化成稳压后的电能输出，剩下的电能全部变成热量被白白地消耗掉了。因此，对于电池之类容量有限的电源，一般不希望采用这种方式进行稳压。另一种类型的稳压电源就是开关式稳压电源。它是通过开关的闭合与断开来调节电源的输出电压。这种稳压电源的转换效率比较高，可以达到90%左右。虽然输出电压的波形不太干净，但还是能够充分满足数字电路对电源的要求。现在，计算机中使用的电源几乎都是这种开关式稳压电源。

电池
- 一次性电池 — 锰电池，碱性电池，锂电池
- 二次性电池
 - 铅蓄电池，镍-镉电池
 - 锂离子电池，镍-氢电池

一次性电池是不可充电的电池，二次性电池是可以通过充电而多次重复使

用的电池。

1.3.3 计算机

前面已经讲过，在机器人中，既有由人从远处通过有线或无线方式实施远距离控制的遥控型机器人，也有靠机器人的自身判断，决定应该采取什么行动的自律型机器人。由于自律型机器人的一切行动，都要靠自己进行判断和实施，因此，在自律型机器人中，需要有一个能够指挥工作的大脑。通常，机器人的大脑都是由计算机充当的。为此，在制作自律型机器人时，需要了解一些计算机的相关知识。下面，首先介绍一些计算机的基础知识。

计算机的组成结构如图 1.26 所示。它是由 CPU、存储器、输入输出设备、辅助存储器构成的。

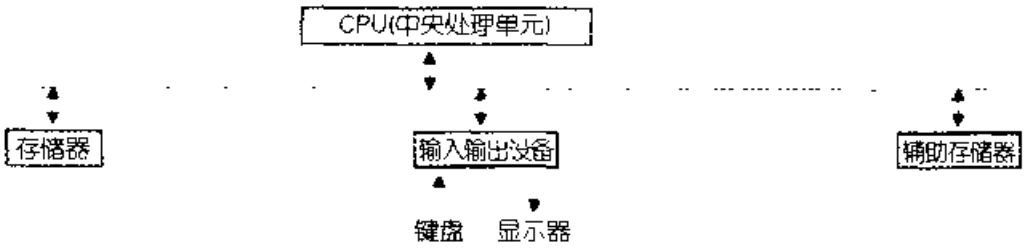


图 1.26 计算机的组成结构

仅靠这样的介绍，大家肯定会感觉摸不到头绪，什么都不清楚。为了使大家能更直观地理解计算机的工作过程及原理，我们举一个例子进行说明。在图 1.27 所示的房间中，在对面墙壁处摆放有一排书架。在这排书架上，整齐地摆放有很多被称为“命令”或“数据”的书。而且，这些摆放位置，都被按顺序进行了编号。在房间中央摆放有一张办公桌，在那里坐着一位可以完成各种工作的工作人员。另外，在房间右侧还有一扇门，里面是一个仓库。在这个仓库中，存放着书架上没有摆放下的命令和数据。在房间的左侧还有一个柜台。在那里，工作人员可以询问客人提出的服务内容，或者将处理结果交给客人。

工作开始后，坐在桌前的工作人员首先将 0 号位置的书(命令)取来，书中写有工作人员要完成的工作内容。假如这条命令是“将存放在 1000 号位置上的内容(相当于书)拿过来”，那么，工作人员就会将存放在 1000 号位置的内容(在此称为数据)拿来放到办公桌上。至此，存放在 0 号位置的命令就处理完毕。接下来，工作人员再将 1 号位置存放的命令取来。假如这条命令上写着“将 1001 号位置上的内容，与手边的数据相加，结果放到办公桌上”。那么，工

作人员就会按照命令的要求，接着执行这条命令。工作人员的任务，就是按照书的排放顺序(编号)，将摆放在书架上的书一本一本地取来，然后，按照书中的要求完成具体的工作。在书架上摆放的书(命令)有很多种类，例如，有“将计算结果送至柜台交给客人”等等。上述这些工作都是在计算机内部进行的。

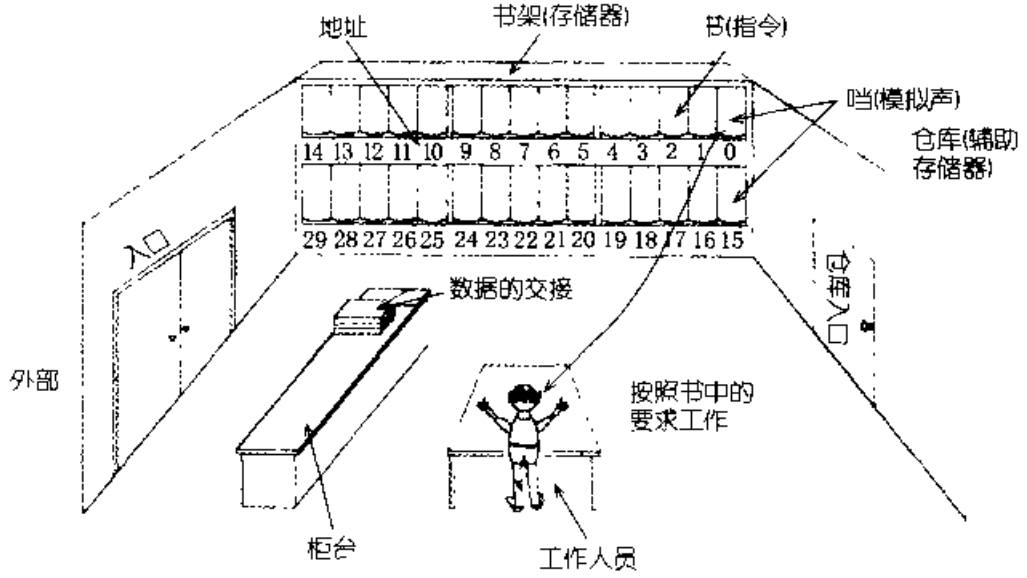


图 1.27 计算机工作过程示意图

至此，将上面的例子与图 1.26 联系起来，是不是可以理解计算机的工作过程及工作原理了。在上面所举的例子中，墙壁上的书架相当于存储器，工作人员相当于 CPU(Central Processing Unit)，柜台相当于输入输出设备(也称 I/O 设备)，仓库相当于辅助存储器。

1.3.4 微处理器

计算机的核心部件是 CPU。在进入 20 世纪 70 年代之前，CPU 都是由晶体管等分立元器件，或者由小规模集成电路等组合构成的。70 年代初期，当计算器的开发竞争达到白热化的时候，日本的商务电器公司，向当时刚刚成立不久的英特尔公司订购了一种能够适应各种不同性能要求的计算器芯片。为了满足这种能够灵活搭配计算器功能的要求，英特尔公司采用了在外部配置程序存储器，通过在程序存储器中存入不同程序来实现自由组合计算器功能的解决方案。制造出的这种芯片，就是后来被称为 4004 的 4 位微处理器。它是由 2300 个晶体管构成的，芯片的大小为 3.2mm × 4.2mm(图 1.28)。

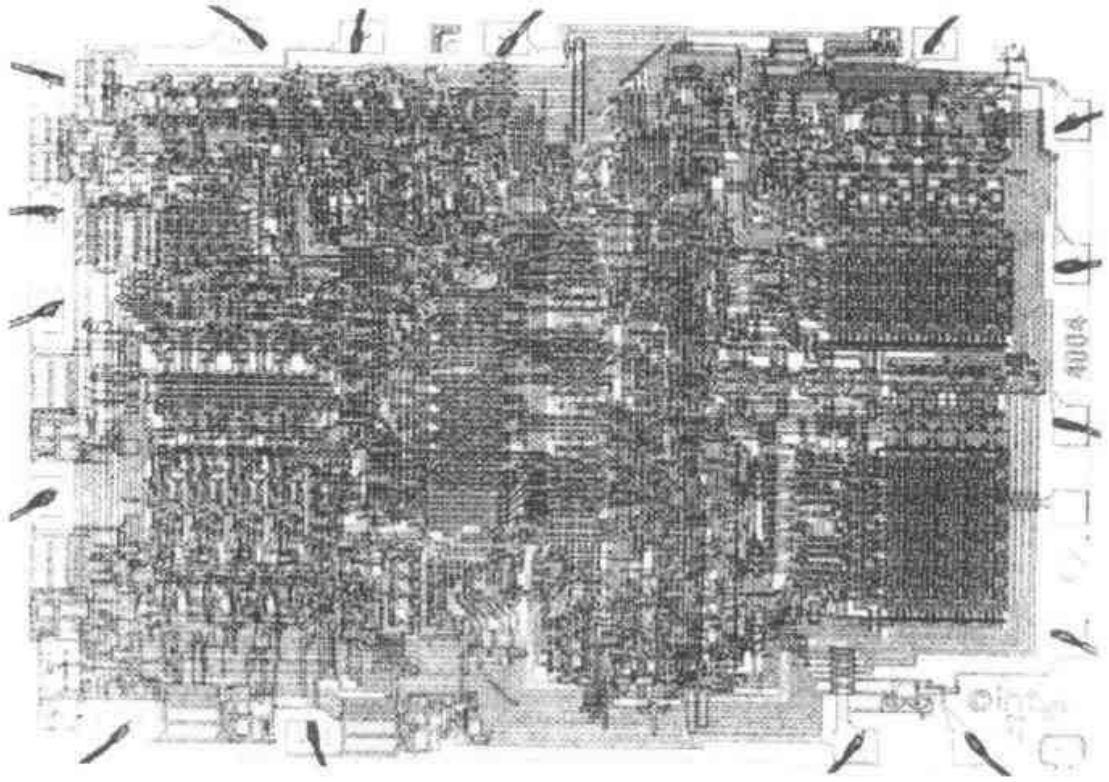


图 1.28 Intel 4004 芯片

随着微电子技术的不断进步，微处理器的集成度越来越高、功能也越来越强。现在，在个人电脑中使用的 Pentium Ⅱ CPU，内部就集成了 750 万个晶体管。



图 1.29 8080



图 1.30 Pentium MMX

微处理器的应用十分广泛，除了可以用作个人电脑的 CPU 之外，还可以用在其他各种装置中。现在，在家用电器和汽车等产品中，要找出一个没有使用微处理器的产品反而十分困难。当需要将微处理器嵌入到电器内部时，通常都会采用将 CPU、存储器、输入输出口(I/O 口)及其他功能部件都集成在一个 IC 芯片上的单片式微型计算机(简称单片机，见图 1.31)。



图 1.31 单片机

1.3.5 个人电脑

现在，恐怕没有人不知道个人电脑的。它包含了前面提到的计算机的所有组成要素。现在，在世界各地使用的个人电脑，根据所采用的 CPU 和 OS(称为操作系统)的不同，被划分成两种类型。

机种名称	CPU	OS
IBM 兼容机	英特尔系列	视窗系列
苹果系列机	超级 PC	苹果系列

无论哪种类型的个人电脑，在运行时都会在屏幕上显示出一个视窗。并且，计算机的操作主要是通过鼠标来完成的。尽管如此，在现在的个人电脑中，90%以上都是采用微软公司的视窗操作系统。

个人电脑的构成要素如下例所示：

主机箱内

CPU：分为 Pentium Ⅱ (Celeron 等)、K6、G3 等多种型号。时钟频率越高，计算机的运行速度就越快。

存储器：8～256 MB(用字节表示)。

接口板：分为打印机、鼠标、硬盘等多种类型。

显示卡：用于处理屏幕的显示信息。

HDD：硬盘驱动器 容量为 1.4～30GB。

FDD：软盘驱动器 容量通常为 1.4MB。

CD-ROM：CD 驱动器 容量通常为 640MB。

声卡：用于将数字音频信号合成后输出。

外部设备(主机箱外的设备)

鼠标：有串行鼠标、USB 鼠标等多种。

键盘

显示器：分为采用阴极射线管制成的 CRT 显示器以及采用 LCD(液晶)制成的液晶显示器。在液晶显示器中，又分为 STN 和 TFT 两种类型。TFT 型的液晶显示器，图像更新速度快、视觉效果更好些。

1.3.6 操作系统

现在使用的个人电脑，只要加上电源，计算机就会立即运行一些程序，在屏幕上显示出一个称为桌面的画面。如图 1.32 所示。用户通过鼠标等操作就可以启动需要运行的程序。如果没有了程序，计算机什么也不会做。之所以这么说，是因为在屏幕上显示桌面、将检测到的鼠标操作状态用箭头的形式在屏幕上显示出来、以及移动显示箭头等工作，都是由于计算机一直在运行一些基本程序实现的。承担计算机这些基本工作的程序就是称为操作系统(简称 OS)的程序。

操作系统具有如下的功能：

- 将存放在硬盘等辅助存储器中的程序取出并执行；
- 如果有多个程序要同时运行，由操作系统来分配 CPU 执行各程序的时间段；
- 从磁盘中读出程序或数据，或者将程序或数据写入磁盘中；
- 管理键盘、鼠标等输入设备；
- 向显示器等输出设备输出文字、图像等信息。

现在，在个人电脑中的 IBM 兼容机上，使用的 OS 有视窗操作系统和 UNIX 操作系统。在此之前，绝大多数的用户都是使用视窗操作系统。最近，使用 UNIX 操作系统，尤其是使用以发明者名字命名的 LINUX 操作系统的用户开始迅速地增加。



图 1.32 桌 面

1.3.7 传感器

在机器人中，如果将电机比作人的手和脚，将计算机比作人的大脑，那么，传感器就相当于人的眼睛和耳朵。传感器的作用，就是将前方是否有障碍物之类的外部信息，以及机器人已经前进了多远、正在朝哪个方向前进等内部信息检测出来并传递给机器人。用于检测外部信息的传感器称为外部传感器，用于检测内部信息的传感器称为内部传感器。

外部传感器

检测是否有物体存在的传感器：微动开关、红外传感器、接近开关；

检测物体与机器人之间距离的传感器：超声波式距离传感器、立体视觉传感器（一种采用两个摄像机来测量物体间距离的设备）；

检测声音的传感器：话筒（驻极体式、电动式、晶体式）；

检测亮度的传感器：CdS（硫化镉）光敏二极管，光敏三极管；

检测温度的传感器：热电偶、热敏电阻、集成温度传感器（IC 传感器）。

内部传感器

检测车轮旋转角度的传感器：编码盘、电位器；

检测方位的传感器：磁敏方位传感器、压电振动式陀螺、光纤式陀螺。

1.3.8 电 路

几乎所有的机器人都是以电为动力的，在制作机器人的过程中，必然会涉及到电路方面的问题。因此，需要介绍一下电路图绘制的基本规则、绘制以及阅读的方法。在制造某种机器时，首先要确定应该采用什么样的结构，各零部件的尺寸如何。为此，需要首先画出一张设计图。制作电路也是一样，也要首先画出一张电路图，然后才能制作。为了绘制电路图，就需要对电路图中采用的元器件符号，以及其他相关事项做出规定。

在绘制电路图时，可以采用如下两种方式：一种是将电路中使用的元器件和排放位置，按实际配线的方式绘制出来。如图 1.33 所示。另一种是采用符号来表示元器件，将电路中各种元器件的连接关系，用符号连接图的形式画出来。前一种电路图称为实际配线图，后一种电路图称为电路原理图。实际配线图易于理解，但画起来比较麻烦。而且，当由于某种原因需要更换元器件或改变配置时，就必须重新画图。因此，除了作为具体的制作记录之外，很少采用这种方式绘制电路图。

在采用符号连接方式绘制电路图时，从一开始就必须记住各种元器件所对

应的符号(也称逻辑符号)。而且,在阅读这种电路图时,头脑中必须能够想象出实际的配线。对于刚开始学习画电路图的人来说,这两点很难适应,不知道应该从何入手。然而,一旦掌握了这种电路图的阅读方法以及绘制方法,那么,在将自己设计的电路拿给他人观看、讨论,或者参考别人的电路设计自己的电路时,就会感到非常方便。

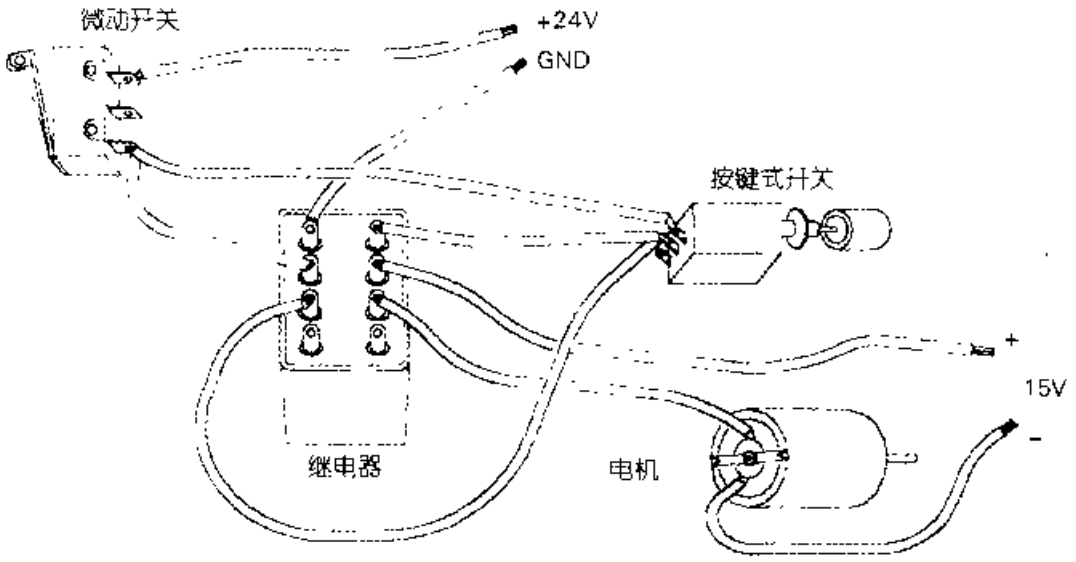


图 1.33 实际配线图

在电路原理图中,电气连接的部分(用电线等连接在一起的部分),一般都是采用直线表示。换句话说,电路原理图(简称电路图)是通过连线将各逻辑符号连接起来,构成的一种元器件相互关系图。因此,在画电路图时,就可能产生线与线交叉的情况。这样一来,这些交叉线之间的关系就分为两种情况。一种是在电气上相互连通的,另一种是单纯的交叉,不存在电气上的连通关系。在画法上,这两种情况的区别如图 1.34 所示。

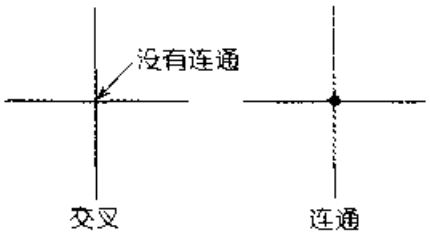
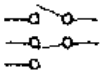
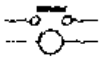


图 1.34 交叉与连通

在画电路图时,常用的元器件符号如表 1.1 所示。电阻、电容、晶体管等元器件的符号都是通用的。在有些电路中,电机、传感器、继电器等元器件可能会采用其他符号。

表 1.1 电路图中的常用符号

	电阻		电容		电感
	npn 型三极管		pnp 型三极管		二极管
	n 沟道 FET		n 沟道 MOSFET		电源
	变压器		开关		电灯泡
	地		地		继电器

基本电学单位

通常，在电路图中的元器件符号旁边，常常会有标注文字或数字。这些文字或数字，一般是用来标识晶体管、IC 芯片等元器件型号，或者是用来标识电阻、电容等元器件的取值。在电气-电子领域中，经常使用的基本单位如下：

参数类型	符号	名　称	常用单位
电压	V	伏[特]	μV,mV,kV
电流	A	安[培]	μA,mA,A
电功率	W	瓦[特]	mW,W,kW
电阻	Ω	欧[姆]	Ω,kΩ,MΩ
电容	F	法[拉]	pF,nF,μF
电感	H	亨[利]	μH,mH

单 位

当需要表示的数值很大或者很小时，直接采用数值进行表示，就需要采用很多位数的数字，或者需要在小数点后使用很多个零。采用这样的表示方法，数值的描述非常麻烦。因此，当需要表示这种数值时，规定要选择相应的量纲作为描述的单位。也就是说，要表示的数值每增/减 3 位数字，就要更换一个增/减 3 次幂的单位。

大的单位	小的单位
10^{3} k(千)	10^{-3} m(毫)
10^{6} M(兆)	10^{-6} μ(微)
10^{9} G(吉[咖])	10^{-9} n(纳[诺])
10^{12} T(太[拉])	10^{-12} p(皮[可])

例如，在表示 10 000Ω 的电阻时，根据 $10\,000\Omega=10\times10^{3}\Omega$，就应该采用大的单位，用 10kΩ 的形式表示。在表示 0.00001F 的电容时，根据 $0.00001\text{F}-1\times10^{-5}\text{F}=10\times10^{-6}\text{F}$，就应该采用比较小的单位，用 10μF 的形式表示。

1.4 加工方法与工具

机器人的制作过程，是一项包含有电气制作、机械加工、木工制作等多种加工内容的综合性制作过程。为此，需要制作者了解很多与工具相关的知识。下面，将介绍在使用这些工具时，应该注意的一些事项。首先，大家要清楚工具是一种“能够延伸你技艺”的道具。只有掌握了正确的使用方法，才能加工出符合要求的零部件。如果使用方法不当，就可能造成零部件报废。特别是在使用电动工具这种“高速工具”时，如果使用方法不当，造成的损失还会在瞬间迅速蔓延。因此，在使用工具时，首先要确保使用方法的正确与安全。能够理解这一点的人，工具就会保养得很好，不但能够做到刀不卷刃、工具不生锈，而且还能够延长工具的使用寿命。其次，就是要牢记工具是配角，材料才是主角。在制作机器人的过程中，木材和金属等材料的选取虽然很重要，但是，如果在加工过

程中不能将材料很好地固定，就不能够保证在切割、弯曲这些材料时的加工精度。因此，在加工过程中，能够将材料牢牢地固定，也是保证正确加工的一个重要前提条件。当用锯子切割木料时，如果切割线产生了偏离，或者是在加工的过程中，木材振动，发出刺耳的噪音，多半都是因为材料没有很好地固定，刀刃不能很好地与材料接触造成的。这样一来，就白费了很多力气。如果刀刃走的顺畅，也会发出声响，但那种声响与仅靠用力所发出的噪音完全不同。因此，通过声响就可以知道工具的使用方法是否恰当。

为了防止加工失败，在加工前要将材料牢牢地固定，在加工的过程中要保证正确的加工姿势，使用工具时不要过分用力。这些加工要领，需要大家通过不断的练习去逐步领会并掌握。

1.4.1 剪切纸张

在剪切纸张时，可以使用剪刀，也可以使用裁纸刀。当然，在剪切之前还要准备一把金属尺。在使用裁纸刀时，为了防止刀刃伤及下面的桌面，最好在纸下垫一块木板。如果要剪切的是张薄纸，可以使用剪刀。但是，如果要剪切的是像瓦楞纸、绘图纸之类稍微厚一些的纸制品时，使用剪刀往往会造成零部件弯曲，而且切口容易变形。因此，在这种情况下，应该用裁纸刀。在使用裁纸刀时，一定要用尺子对准并压住切割线(图 1.35)，先用裁纸刀轻轻地划出一条比较浅的切割线，然后再按已划出的切割线多次重复切割。如果需要剪切曲线或者剪切中间某一部分时，应该选用稍大一些的裁纸刀。剪切结束后，还要用剪刀将切口再修整一下。

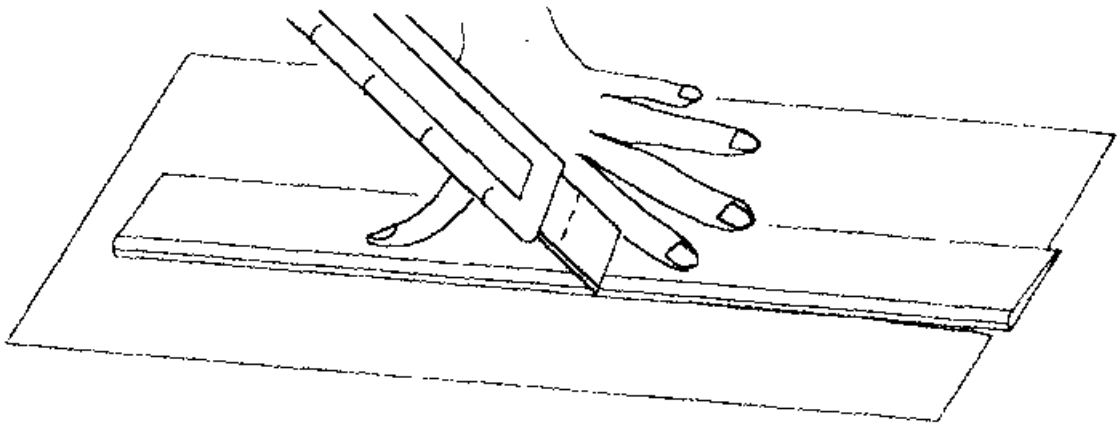


图 1.35 用裁纸刀剪切纸张

1.4.2 切割木料

在切割木料时，一般都要使用锯子。当需要切割薄木板或合成板时，应该选用锯齿较小的锯子，这样才会保证切口整齐。在切割这种木料时，要尽可能地降低锯条，以减小与木料之间的角度，而且，不需要过分用力拉锯。在切割过程中，如果发生木板移动或振动，一般都是由于固定的力量太小，拉锯的力量太大造成的。这样加工出的零部件一般都不太好。因此，在加工的过程中，应先将材料牢牢地固定，然后调整加工姿势，以确保锯条走刀顺畅。

如图 1.36 所示，在加工时，最好使用一个成直角的木块作为挡木，对准切割线，然后贴着木块下锯，这样就能很轻松地锯出直角。在起槽时，一定要确认一下起槽的方向是否正确，这一点非常重要。因为在后面的切割过程中，如果拉锯的姿势不正确(或许已经养成习惯)，就会造成自以为方向没问题，待校验后才发现切口偏离了切割线。当木料锯到一半时，如果发现切割线偏离了原来的方向，有的制作者就会在原处强行改变锯的走向，使其返回至切割线上。这样做的结果，常常会因锯槽弯曲造成卡锯。当遇到这种情况时，应该从木料的另一侧重新锯起。在切割木料时，应根据材料的厚度，调整锯条与木料间的角度(图 1.37)。如果要切割的是比较厚的方材，就应加大锯条与木料间的角度，如果要切割的是胶合板之类比较松软的板材，就应降低锯条，减小与木料间的角度，将锯放平轻轻地切割。这样才能防止木板跳动，切口才会整齐。

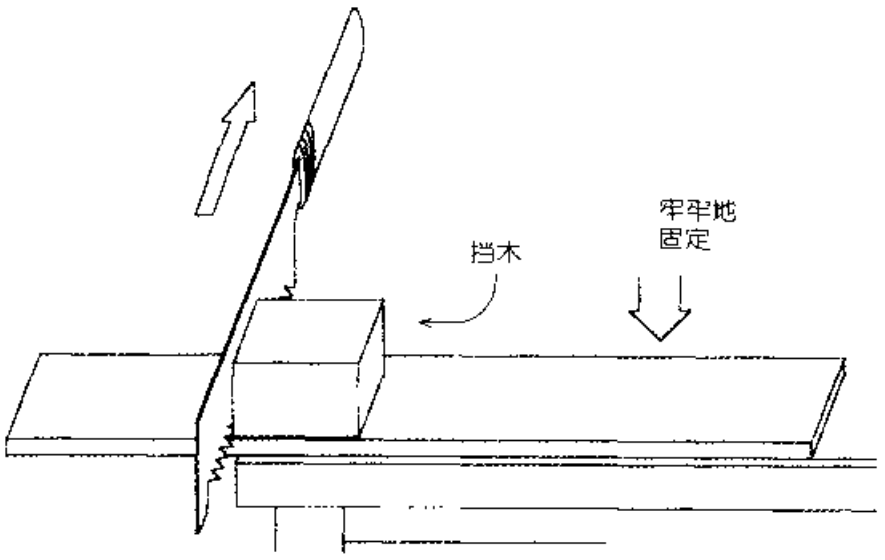


图 1.36 直角切割

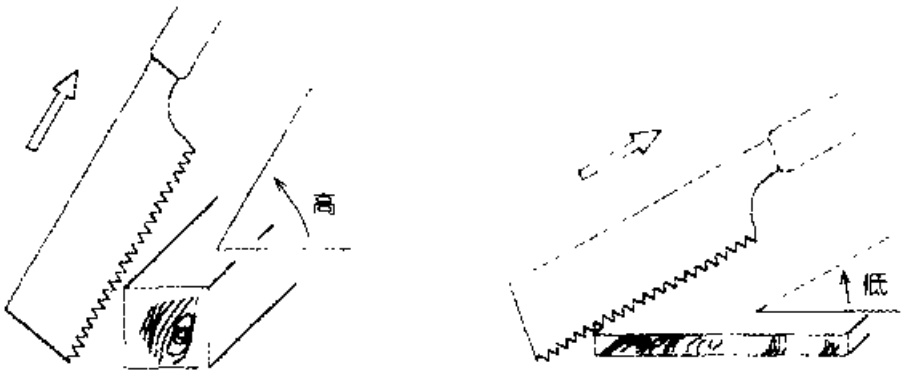


图 1.37 材料厚度与锯条角度的关系

如果加工的零部件边角不整齐，组装时就会产生偏差。因此，切割结束后，还要检验零部件的边角是否成直角(图 1.38)。如果不是，就需要用锉刀或者用刨子修整一下。在常用的边角检验工具中，有木工角尺或直角规(角尺)等多种。如果在检验的过程中，发现边角的偏差不大就忽视了整改，那么，随着加工零件的增多，其影响就会显现出来。我们要制作的机器人，可以说是一种精密机械，因此，要求制作者自身首先应该成为一个严谨的人。

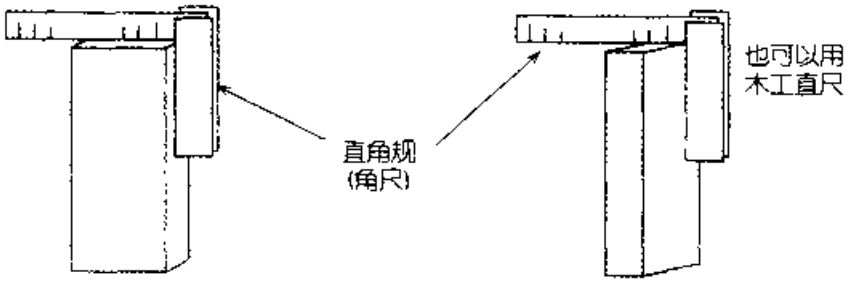


图 1.38 检验边角是否成直角的方法

1.4.3 切割金属

在切割铁丝等金属材料时，应该使用钳子，千万不要使用剪刀。虽然它们都是剪切工具，但是，由于用途不同，刀刃的材质是不同的。如果使用剪刀切割金属丝，就会造成剪刀卷刃。当需要切割金属板时，也可以使用一种称为金属剪的剪切工具。它的使用要领与使用剪刀切纸是一样的。采用金属剪进行剪切，剪切后的零部件常常会发生弯曲。因此，在剪切完毕后，还需要将其平整一下。

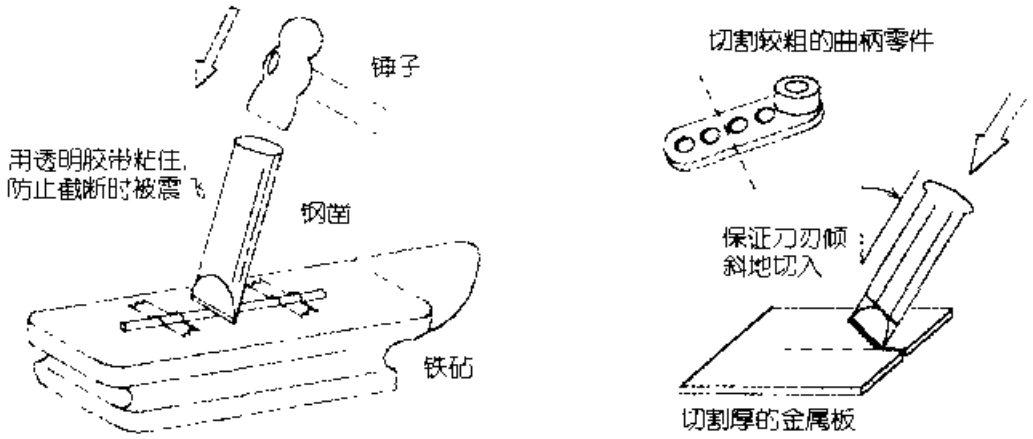


图 1.39 用钢凿切割稍粗的金属棒

如果要切割的是很粗的铁筋或钢轴，需要在其下面垫一个铁砧，然后，用锤子敲击钢凿将其截断。如果是垫在松软的基座上，那么，铁筋或钢轴会因弯曲而不能被截断。如果需要切割更坚硬的金属材料，就需要先用台钳将材料固定，然后，用钢锯沾上切削油将其锯断。

金属的切口一般都比较锋利，因此，在切割完成后，一定要用锉刀修整一下零部件中锋利突出的部分，以防日后不小心被划伤。

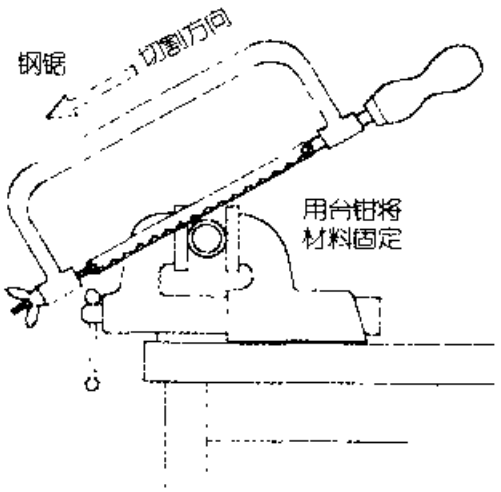


图 1.40 用钢锯切割粗金属棒的方法

1.4.4 切割塑料

在切割塑料瓶、超市用的泡沫包装盒等比较柔软的材料时，可以用剪刀。在切割发泡塑料时，可以使用裁纸刀，也可以使用专用的电热切割器。当需要

切割聚酯塑料板时，应该使用专用的切割器。在切割时，要先用切割器切出一个沟槽，然后将聚酯塑料板固定好，通过弯折就可以将其折断，如图 1.41 所示。

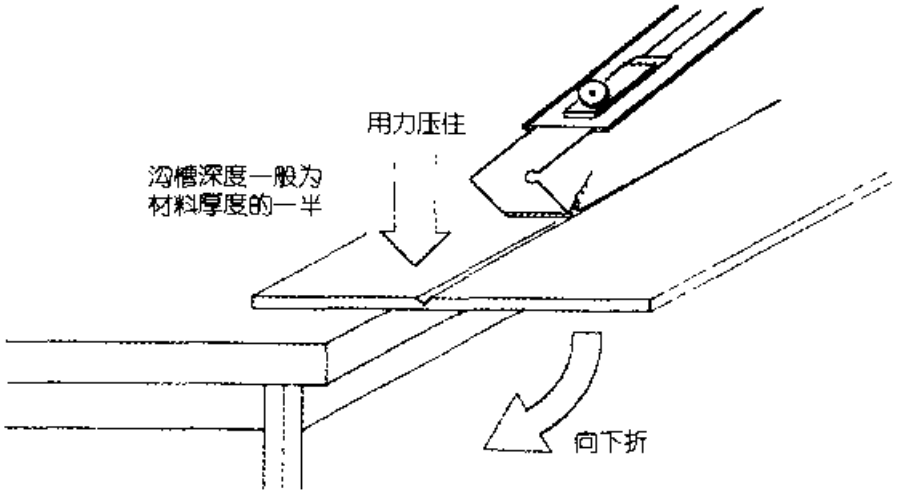


图 1.41 切割塑料板

1.4.5 曲线切割

如果材质允许，当然可以使用剪刀进行曲线切割。但是，对于那些比较坚硬的材料，就应该采用丝锯来完成。当采用这种方法切割时，要先将材料固定好，然后，从稍微靠外的地方开始切起。在切割的过程中，不要过分用力拉锯。切割结束后，还要用锉刀将切口修整一下。采用这种方法进行曲线切割，一般

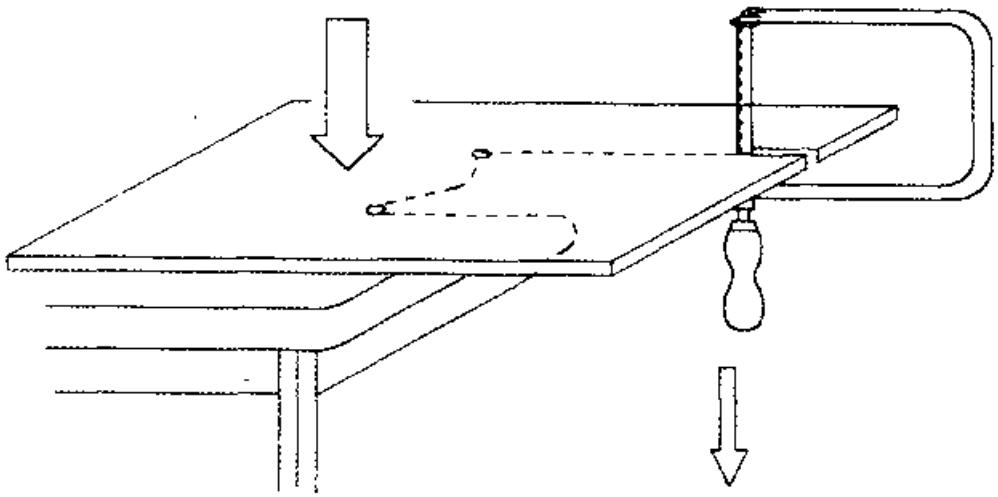


图 1.42 用丝锯进行曲线形切割

都不会出问题。但是，当切口接近固定的台面时，虽然木板不再跳动，但固定台面却很容易被切伤。因此，当刀口接近固定台面时，要不断地调整材料的位置。

如果手头有电动丝锯，就应该充分地加以利用。虽说它是电动的，但在加工的过程中，如果过分用力向前推进，就很容易将锯条弄断。因为锯条在上下运动时，每个往复能够切入的量是一定的。因此，在使用时不要过分用力，应慢慢地向前推进。在加工前，一定要确认刀刃朝下，并将材料固定好。

1.4.6 粘 接

在制作机器人的过程中，应充分考虑到日后可能出现的调整和修改。如果将需要固定的部分全部用黏合剂粘接起来，那么，当日后出现哪怕很小的变动时，也必须将其毁掉重来。因此，在制作的过程中，需要慎重考虑，只在那些不会更改的地方使用黏合剂。另外，为了充分发挥黏合剂的效果，应该遵守以下事项。在使用前要仔细地阅读使用说明书，并按说明书上的要求去做。由于黏合剂的种类不同，使用的方法也会有所不同。在加工零部件的过程中要保证加工精度。如果两个粘接面很干净、平坦又吻合得很好，那么，粘接后的效果就会很结实。此外，在粘合后，还要给两个粘合面施加一定的压力，并保证在黏合剂完全干燥之前，绝对不要移动粘接的零部件。如果在此期间移动了粘接的零部件，就会使已经粘合、但还未牢固的部分发生断裂，从而降低粘接的强度。当需要粘合棒状零部件时，由于零部件粘合面很小、没有充分的接触面积，因此，要充分利用木板和方材作帮衬，增加接触面积、提高粘接的强度。

1.4.7 纸类的粘接

当需要用纸制作某种立体零部件时，应事先准备好浆糊。采用纸张粘贴的方法，也能制作出具有一定强度的零部件。纸的种类有很多，在机器人制作中使用的纸，应该是既轻又结实的。如果不用浆糊，仅靠透明胶带进行粘贴，那么，零部件棱角处的强度就会降低，整个结构就会变得很脆弱。相反，如果采用浆糊进行粘贴，就可以提高粘合面的强度，制作出具有很高强度的纸制零部件来(图 1.43)。在粘接过程中，应先用尺子抵住要折叠处，用圆规尖或圆珠笔尖划出标记，然后按标记进行折叠，这样就能折叠出整齐的棱角来。最后，将需要粘合的地方用浆糊粘贴起来。

在实际粘接时，可以采用乳胶类黏合剂、透明胶带、黄胶带(箱包胶带)等多种材料。当采用胶带时，需要注意两个粘合面之间不要留有间隙。在粘贴时要稍稍用力拉抻胶带，以保证胶带不起皱，使胶带与粘合面之间能充分地接触。

根据粘贴方法的不同，制成的零部件强度也不相同。如果粘贴充分，并且折线整齐，粘贴出的零部件就会具有很高的强度。精密的制作技术往往能产生出看不见的强度。

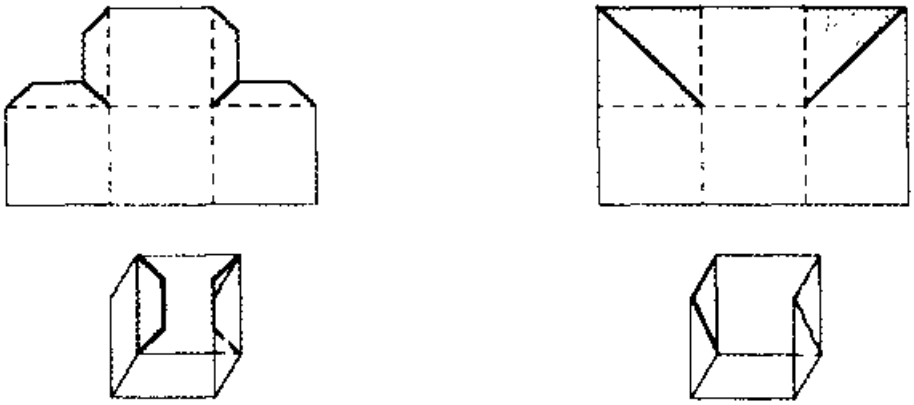


图 1.43 增大浆糊粘接面积的方法

1.4.8 木材的粘接

当需要粘接木质零部件时，为了使两个粘合面能完全吻合，两个粘合面要加工得完全吻合。在粘合的过程中，如果粘合面上留有砂纸磨下的细木屑，就会造成粘合力下降。因此，在粘合之前，要用拧干的湿布擦拭粘合面，待其干燥后再涂胶粘合。粘接顺序如图 1.44 所示。

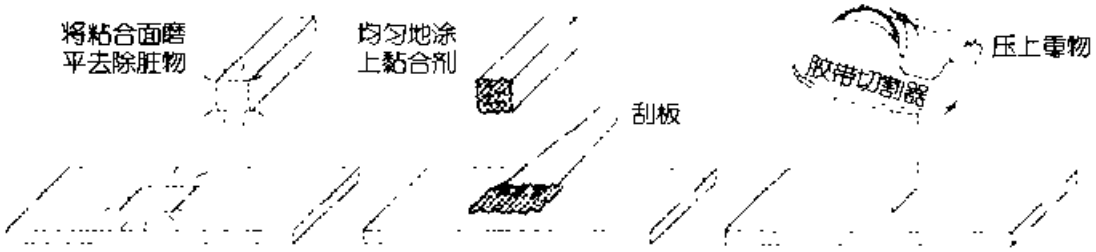


图 1.44 木件的粘接顺序

在使用乳胶类黏合剂时，在粘合面上应多涂一些胶，以挤压粘合面时能露出一定胶液为宜。在用湿抹布擦去溢出的乳胶后，再将粘合面固定起来。由于黏合剂的固化需要一定的时间，因此，在粘合固定后，要在粘合物上压上透明胶

带切割器或其他重物达半天以上。除乳胶类黏合剂之外，还有很多其他类型的黏合剂可以使用。在使用瞬间型黏合剂时，要严格遵守以下原则。粘合前同样需要将粘合面擦拭干净，开始粘合后，严禁移动已粘接的零部件。此外，在各种黏合剂的使用说明书上，肯定都会写有干燥时间，使用时一定要遵守这一时间。此外，如果需要采用金属加固件来增加粘合部件的强度，那么，一定要在黏合剂凝固之前，将这些金属加固件安装上去。增大粘合面的方法如图 1.45 所示。

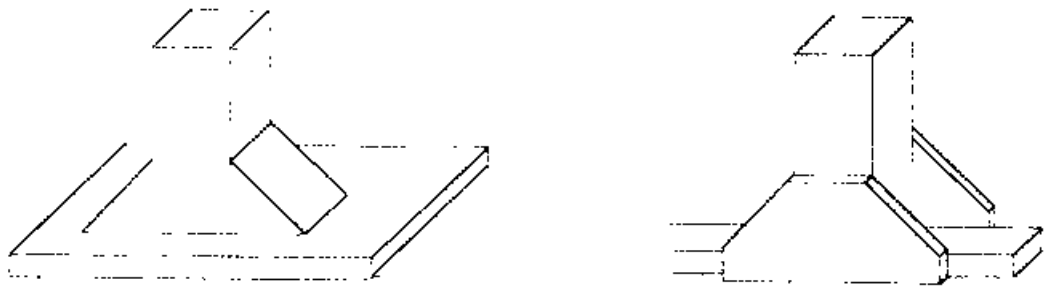


图 1.45 增大粘合面的方法

1.4.9 金属的粘接

采用金属的地方，一般都是需要承受较大载荷的地方。虽然黏合剂具有很强的抗拉伸强度，但它的抗扭曲能力却很弱。因此，如果粘接部分需要抗扭曲

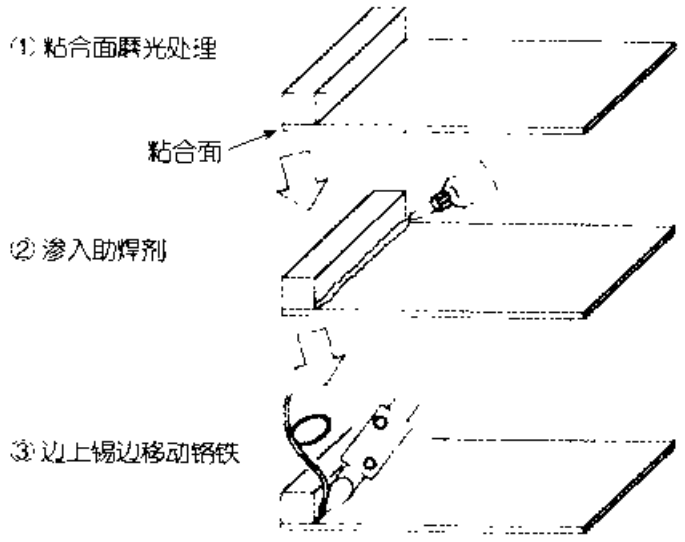


图 1.46 用焊锡焊接金属板的过程

时，采用螺钉固定的方法要比使用黏合剂的效果更好一些。当需要粘接铁、铜等金属时，还可以采用焊锡焊接的方法(参见图 1.46)。

利用焊锡这种能在低温熔化的合金，可以实现与焊接相似的效果。采用焊锡进行焊接时，应使用功率在 100W 以上的电烙铁。在焊接时，两个焊接面研磨得越亮，焊接的效果就会越好。在焊接前，为了保证焊接后的两个接触面之间没有间隙，应该顺着接触面的边缘注入一些助焊剂。这样一来，当电烙铁充分加热后，在向电烙铁上注入焊锡的同时将烙铁沿着接合线移动，焊锡就会在助焊剂的引导下渗入到两个零件间的粘合面中。当焊锡降温凝固后，就能将这两个零部件牢固地粘接在一起。焊接结束后，如果出现焊缝不光洁的现象，多半是由于粘合面不干净，或者在焊接过程中烙铁传递出的热量不够、加热时间不足造成的。

1.4.10 连 接

当需要制作一个比较长的零部件时，经常会采用将几个相同的部件连接起来的方法进行加长处理。另外，如果对市场出售的部件形状不满意，也可以先用一块新木板进行加长处理，然后，再通过进一步加工来满足自己的要求。当需要将不同材质的零部件(如金属棒与木制件)连在一起时，应该避免使用黏合剂，尽可能地使用螺钉。因为黏合剂都有各自最适应的材质，对一种材料的粘合效果比较好，对另一种材料的粘合效果可能就不理想。下面，就简单地介绍几种常用的连接方法。

1.4.11 木板的加长处理

如果木板尺寸不够，需要进行加长处理时，可以参考下面的做法(参见图 1.47，图 1.48)。它们都是采用两块短木板夹住要连接的部分，通过不同的固定方法实现加长处理的。在进行固定时，既可以采用像制作胶合板那样的涂胶粘接方法，也可以采用螺钉进行固定。此外，还有一种很实用的方法。就是在要加长的木板两侧，各粘贴一条木楞。采用这种方法，可以提高加长处理后的木板强度。如果想进一步提高强度，还可以将上面的木楞换成角铁，并用木螺钉进行固定。在机器人的制作过程中，经常需要在水平的木板上接一块垂直木板，并在这个垂直板上加挂变速箱或工作连杆之类比较重的部件。对于这种需要有一定强度的加长处理，可以采用添加金属加固件、加固板，或者添加斜梁的方法来保证所加工的零部件强度。

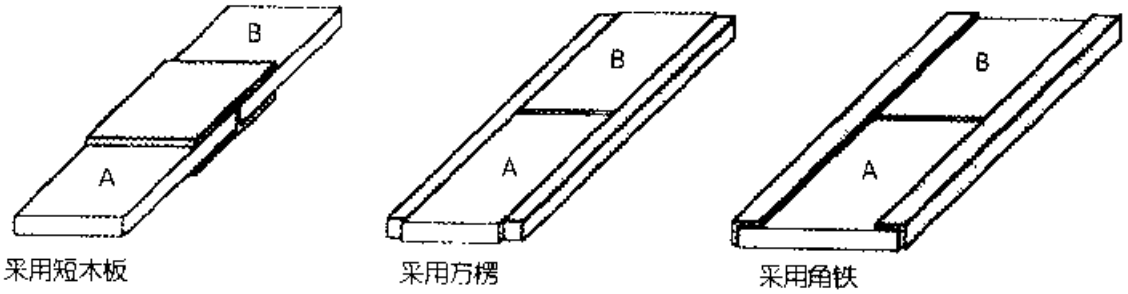


图 1.47 木板的加长处理范例 1

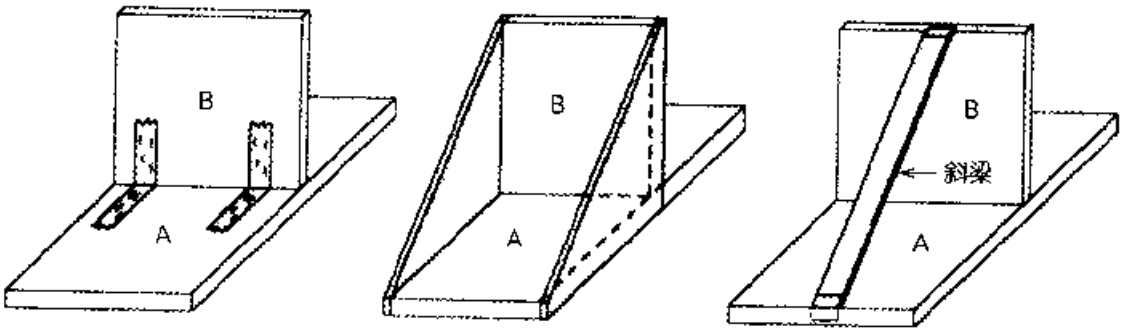


图 1.48 木板的加长处理范例 2

1.4.12 棒材的加长处理

当需要加长钢琴弦之类很细的棒材时，处理起来比较困难。当遇到这种情况时，可以到 DIY 店(材料商店)购买稍微硬一些的修理用铝箔，用它将要加长处理的棒材缠在一起(图1.49)。另外，对于可以便用焊锡的铁质材料，还可以先

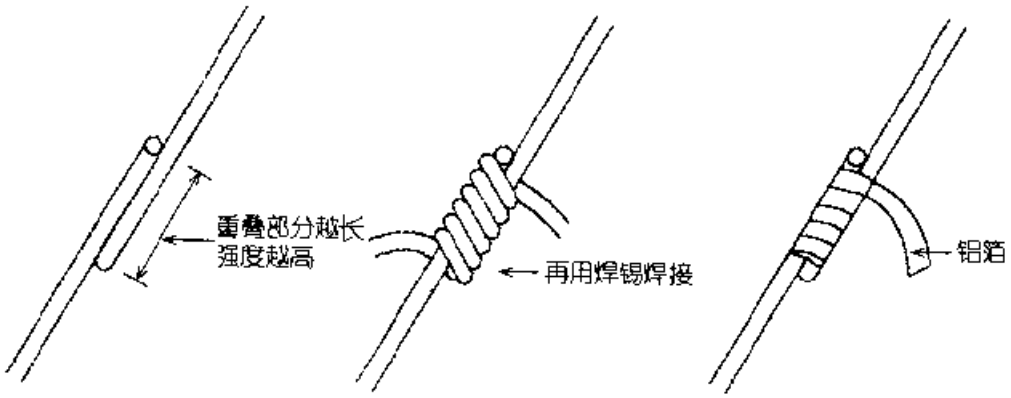


图 1.49 棒材的加长处理方法

用铜丝或铁丝将要加长处理的棒材缠起来，然后再用焊锡焊接(简称锡焊)。采用这种方法，可以提高加长处理部分的强度。当加长处理部分需要承受较大的负荷时，采用增大材料重叠部分长度的方法，也可以起到提高强度的作用。如果要加长处理的是比较粗的材料，就需要采用金属加固件，至少从上、下两个方向将加长处理部分夹紧固定。

1.4.13 给配线加标记

在机器人中，通常都会有很多配线。如果不给这些配线加上区分标记，就会给查找及维修带来麻烦。例如，在连接电机的电源线时，尽管每组线都是在确认之后才连接的，结果还会经常搞错。另外，如果在比赛前夕机器人突然发生故障，需要更改线路或者更换零部件，如果配线上没有加区分标记，在修理的过程中就很容易出问题。相反，如果事先已给配线加上了区分标记、或者采用了不同颜色的配线，那么，再遇到上述情况时，就能够迅速地应对，不致于慌慌张张，忙中出错了。

下面，举一个给配线加标记的例子，供大家参考，以寻找更有效的区分方法。最简单的加标记方法，就是使用修改液之类白色的油漆，在配线的前端加上若干个“·”。这样，通过白点的数目就可以区分不同的配线。此外，还可以在配线上缠绕一段透明胶带，在胶带上粘贴一张写有以示区别的文字小纸条，这也是一种不错的标记方法(参见图 1.50)。

配线的连接处可以采用焊锡焊接。这样既可以保证配线能可靠连接，又能减小连接部分的接触电阻。另外，在制作机器人的过程中，还应该注意合理地配线。如果配线布局不合理，那么，当机器人在完成某些动作时，就可能造成配线因被刮、被拉而断开的现象。因此，在布线时，应尽量避免配线从可动部分穿过，最好将配线固定在车体上。对于一些比较长的配线，要将它们整齐地扎在

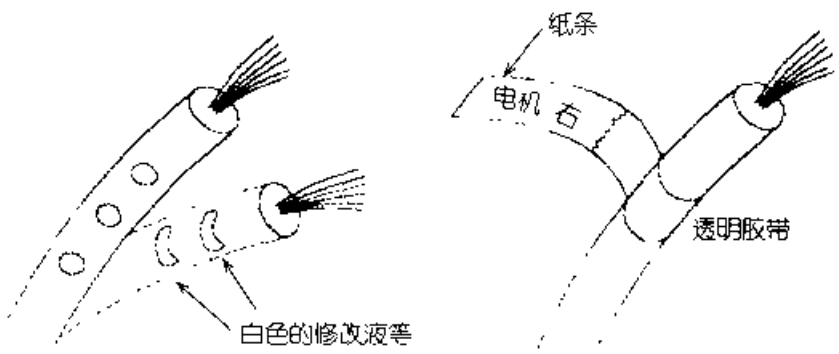


图 1.50 给配线加标记的范例

一起，不要暴露在车体之外。通过采取以上的措施，可以避免一些意想不到的突发性错误。

另外，还应该考虑一些如图 1.51 所示的配线抗拉措施，使配线在受到一定的拉伸后，也不至于轻易地断开。

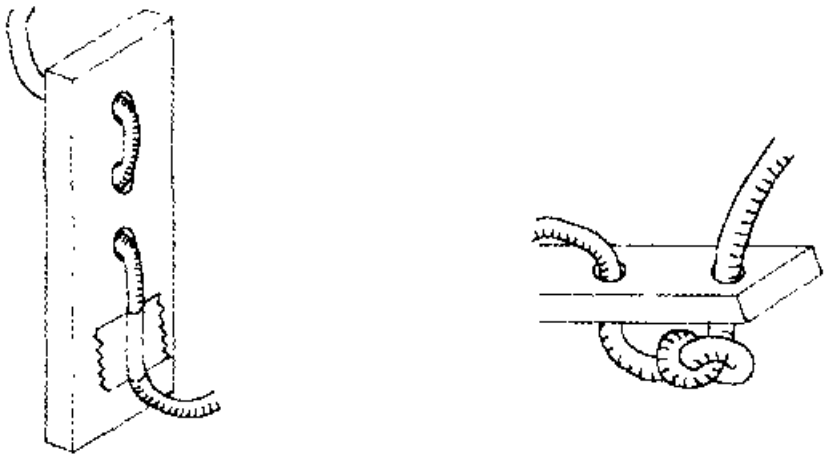


图 1.51 配线的抗拉结构

1.4.14 锡 焊

在制作电路的过程中，经常采用的一种导线连接方法就是焊锡焊接（简称锡焊）。焊锡是一种锡铅合金，可以在 400℃ 左右的温度下熔化。在焊接时，可以采用电烙铁将焊锡加热熔化，使其渗入到要连接的导线或零部件的引脚中。如果焊接方法得当，就可以在金属与焊锡间形成合金薄膜。采用这种方法，不仅可以使被焊接的部分不易脱落，而且还能形成良好的电流通路。除此之外，还有一种导线连接方法，那就是将导线中的铜线直接拧（缠绕）在一起。但采用这种方法连线，铜线容易生锈，连线也容易断开，常常会造成电流通路不畅。如果连接部分与其他部分发生接触，甚至还可能会造成短路。

对于需要可靠连接，并且在连接后一般不再取下的配线，采用锡焊方法是比较恰当的。如果需要连接的是两根铜线，也可以采用另外一种方法。这种方法是采用一种称为压接端子的连接器件，将需要连接的配线压接在一起。在实际的制作过程中，具体采用哪种连接方法，应根据实际的情况而定。如果采用锡焊的方法，通常要选用 15～30W 的电烙铁，采用内含助焊剂的焊锡。采用这种焊锡，不但能使焊接的金属表面光洁，而且，还能在焊接点的表面形成一种薄膜，使其不易生锈。

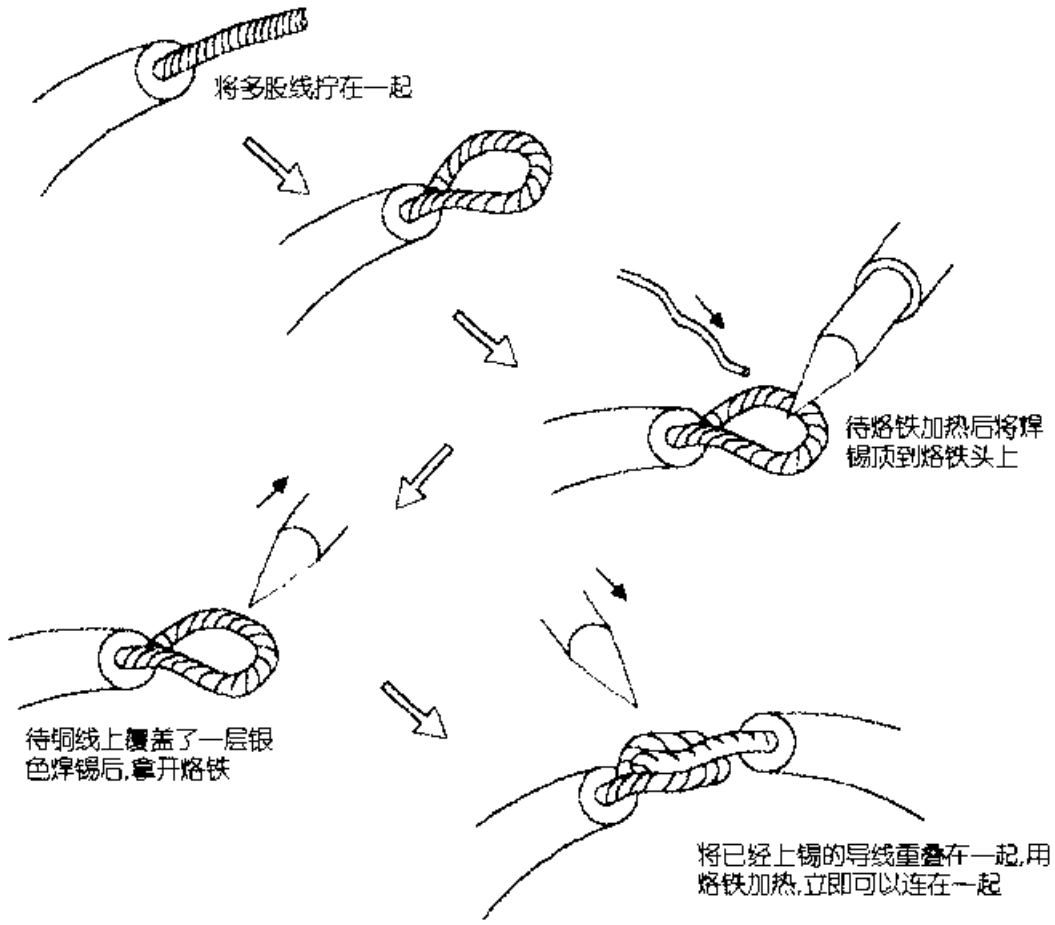


图 1.52 导线焊接顺序

在进行具体焊接时,应先将两根导线都渗入焊锡,然后将渗入焊锡的部分重叠在一起,最后,再用电烙铁加热使其熔合(参见图 1.52)。这是一种最简便、最可靠的焊接方法。在机器人的制作过程中,更改电气配线是常有的事情,即使在机器人的外形制作完成后,也常常需要对配线进行更改。因此,采用直接连接的方法,要比将两根配线缠在一起后上锡焊接更便于更改。当采用这种直接连线的方法时,为了防止连接部分与其他地方相碰造成短路,必须用塑料绝缘胶带将其缠绕起来。

在焊接电机电源线时,需要注意不要使电烙铁的加热时间过长,因为模型电机的内部支撑物一般都是用塑料制成的。长时间地加热电源端子,会造成支撑物熔化变形,从而使电机不能转动。

1.4.15 在木料上钻孔

使用多棱锥可以在木材上钻孔。当需要用木螺钉将某个零部件固定在坚硬的木质材料上时,一般先用多棱锥钻出一个引导孔,然后再用木螺钉固定的

方法。引导孔的深度，一般以木螺钉长度的一半为宜。这样，才能充分发挥木螺钉的固定作用。

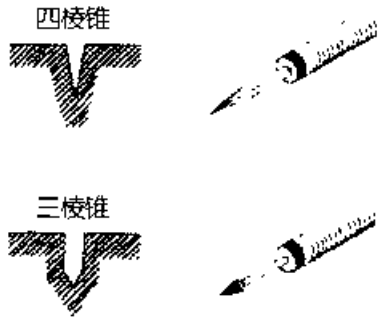


图 1.53 锥头与所钻孔的形状

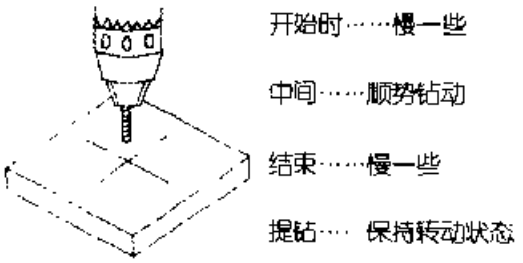


图 1.54 钻孔的要领

当需要钻一个大小合适的贯穿孔时，最好采用钻头进行钻孔。在钻孔时，可以使用手摇钻，如果有电钻就更方便了。在钻孔前，要在待钻孔的材料下面垫一块木板，这样可以防止木板被钻透时发生开裂。接下来，用多棱锥或钉子在要钻孔处做一个标记，在确认钻头垂直对准标记后，就可以开始钻孔了。在钻孔的过程中，不要过分用力向下压钻。当木材快要被钻透时，要降低钻头的钻速。在木材被钻透后，要继续保持钻头转动方向不变，然后将钻头从木料中提出。如果在提钻的过程中钻头反转，钻头就可能卡在木料中。

1.4.16 在金属上钻孔

在金属板上钻孔时，有一些问题需要注意。如果事先不作任何处理，直接在金属板上用钻头钻孔，钻头常常会像陀螺一样滑动，从而不能精确地在指定的位置上钻出孔来。为了防止发生这种现象，可以用钉子在要钻孔的位置上画一个十字(图 1.55)，然后用一个冲头对准十字的中心处，用锤子敲打出一个小凹坑，然后，再将钻头对准凹坑处开钻，这样就可以避免钻头滑动的现象。

当需要用电钻在比较薄的金属板上钻孔时，在钻孔的过程中金属板可能会产生很危险的上跳现象。为了防止发生这种现象，可以采取用夹钳固定金属板，或者采用能够

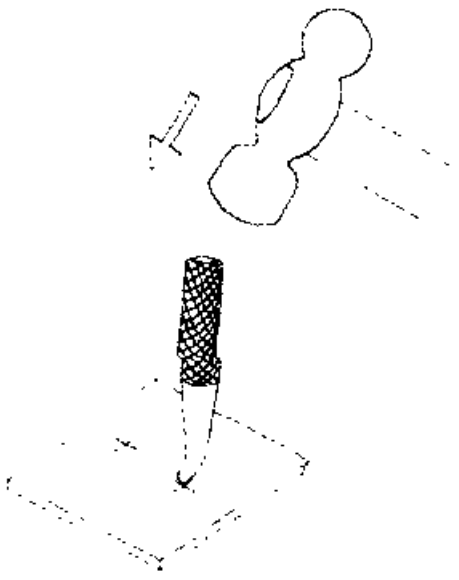


图 1.55 冲头的使用方法

坑金属板上跳的钻头等方法加以解决。

另外，如果需要在稍厚一些的铁或其他金属材料上钻孔时，可以采用称为台钻的大型电钻。在使用台钻时，首先要将材料固定好，在钻孔的过程中，为了防止因摩擦生热导致的钻头刀刃钝化，要不断地向钻头上滴入切削油。在钻孔过程中产生的铁屑非常锋利，容易割手，因此，在加工时要十分当心，要按指导教师的指示去做。在使用台钻时，钻头越细，转速就应该调得越高些。

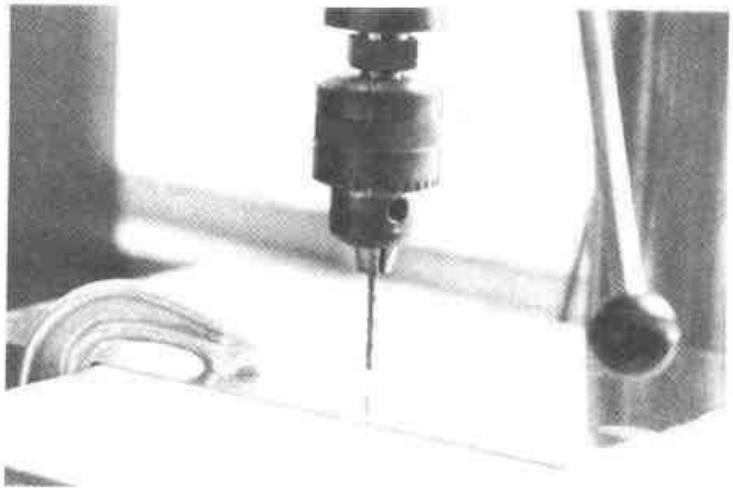


图 1.56 用台钻在金属板上钻孔

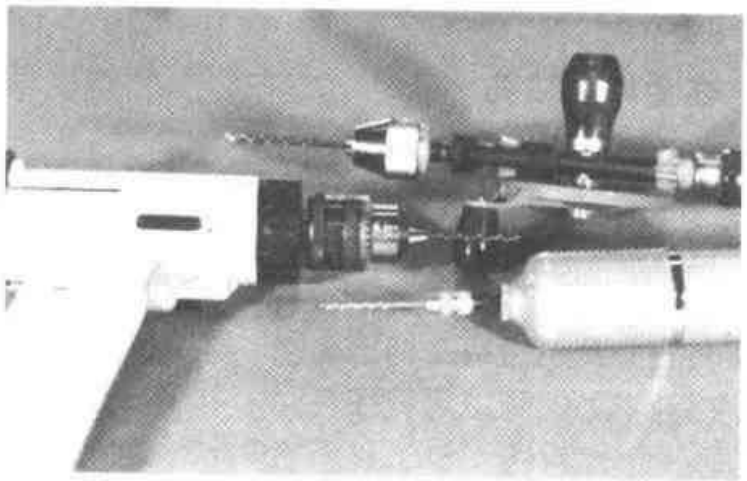


图 1.57 钻孔工具

1.4.17 在塑料上钻孔

同金属一样，塑料也具有质地均匀的特点。因此，当需要在塑料上钻孔时，其加工要领与在金属上钻孔基本相同。由于塑料的材质要比钻头软得多，因

此，在加工的过程中，不需要使用切削油。但是如果在加工的过程中产生的热量过多，可能会导致塑料融化。当遇到这种情况时，可以采用酒精等冷却液对钻头进行降温。

1.4.18 用螺钉固定

当需要将零部件直接固定在稍厚一些的木制零部件上时，可以使用木螺钉。在拧动木螺钉时，有些事项需要注意。如果拧动时用力过大，木螺钉就会同钻头一样，变成了在木材上钻孔而不是固定。采用木螺钉固定时，要根据木材的硬度，用力按住木螺钉的头部保证螺钉拧紧即可，切不可拧动过度。这是用木螺钉固定的要领。

当木材很薄时，可以先用钻头钻一个孔，然后从中穿过一个螺钉，再用螺母拧紧固定。在固定时，可以用尖嘴钳子固定好螺母，然后用螺丝刀将螺钉上紧。如果木料质地柔软，螺母可能会嵌入到木材中。为了克服这种现象，可以在螺母前加一个环形的金属垫圈，这样就能将零部件牢牢地固定了。

当需要固定金属或塑料时，通常都会采用螺钉、螺母进行固定。如上所述，采用螺母加垫圈的方法，可以增加固定的牢固性。对于木材来说，当螺母拧紧后，由于木材会产生一个反作用的弹力，因此，固定后的螺钉一般不会松动。而对于塑料或金属来说，机器人的自身振动，就可能造成螺母松动。对于这种情况，可以在螺钉上加入一个弹性垫圈，这样拧紧后螺母就不易再松动了。另外，对于那些在固定后不需要拆卸的部分，还可以在螺钉的螺纹上涂上涂料。采用这种方法，也能起到一定的抗螺母松动效果。

然而，对于连杆或凸轮等装置，仅是拧紧固定还不够，还需要保证其中的活动部件能够顺畅地活动。为此，在固定时需要留有一定的间隙。对于这种情况，由于不允许将螺钉完全拧紧，因此，需要在螺钉上加入环形的胶皮垫圈以取代螺母。对于这种能活动的部件，如果只是用一个螺母轻轻地带上，那么，当遇

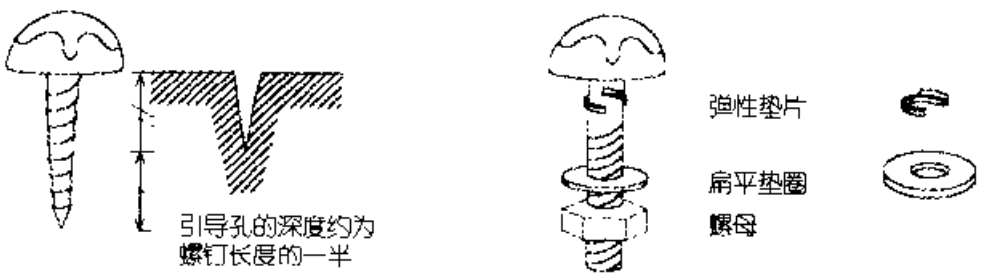


图 1.58 木螺钉引导孔及螺钉螺母套件

到振动或者部件运动时，螺母就会松动脱落。相反，如果将螺母拧紧，则装置中的活动部件又不能活动。因此，为了保证活动部件的活动顺畅，需要采取在每个零件上都加入扁平垫片(图 1.58)等方法进行特殊处理。

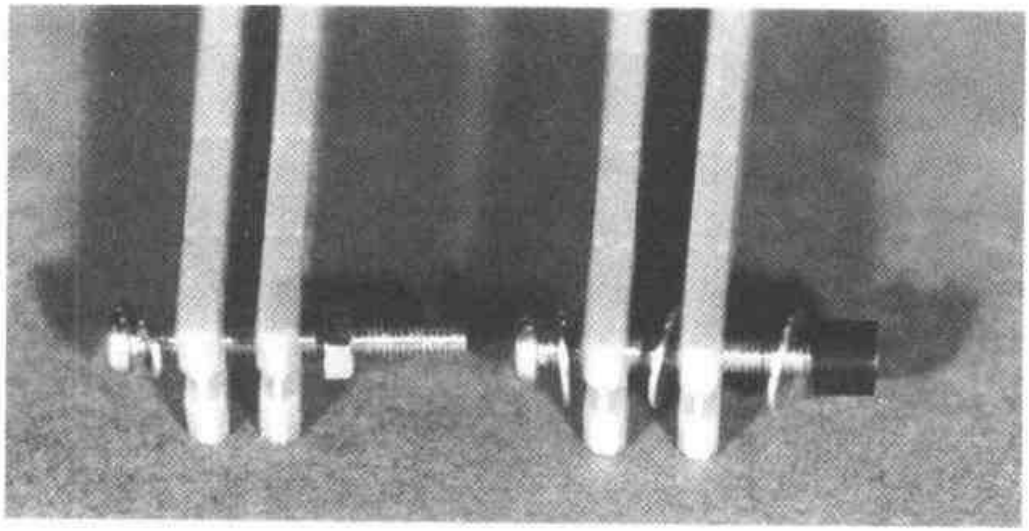


图 1.59 完全拧紧(左)及活动关节(右)的处理方法

1.4.19 弯折纸板

当需要弯折纸板、瓦楞纸等较厚的纸制品时，不做任何预处理地直接弯折，折叠线多半不会整齐。为了克服这种现象，应该先用尺子抵住需要折叠的地方，用圆规的尖部或者圆珠笔的笔尖划出一条凹陷状的折叠线。然后，按照这条折叠线进行折叠，就可以保证折叠线棱角分明。这是由于被压缩部分容易弯曲，而且还具有增大被弯折处强度的效果。当需要弯折瓦楞纸之类比较厚一些的材料时，可以先在折叠处切割出一个浅一些的沟槽(图 1.60)，然后进行弯折处理，这样做的效果会更好些。当采用这种方法进行弯折处理时，必须在折叠处粘贴透明胶带等加固材料，以提高折叠处的强度。

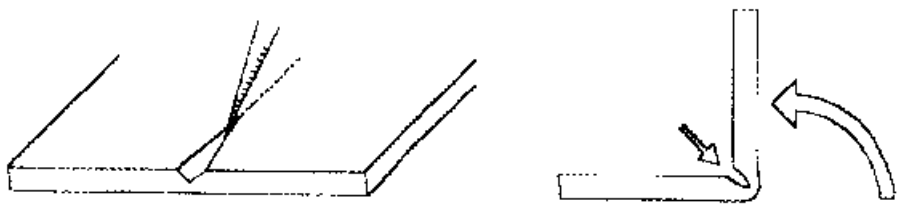


图 1.60 纸板的整齐折叠

1.4.20 弯折竹材

在制作机器人的过程中，也许并不需要进行这种加工。但是，当需要利用竹子的弹力，制作机器人手臂前端时，可能就会用到这种加工方法。作为一种加工参考，下面介绍一下这种加工的具体做法。在弯折竹条或者薄竹板时，要先准备一个小炉子或喷灯等加热器，并将材料要弯折的部分润湿，然后，将这些加热器放置到不至于使竹材燃烧的位置上，慢慢地烘烤要弯折的竹材。在加工过程中，要先将材料的弯折处蘸水润湿，然后边烘烤边弯折。就这样，在重复蘸水、烘烤的过程中慢慢地弯折，就可以将竹材加工成期望的形状，这也是竹材加工的要领。以竹子为材料加工零部件，除去可以利用竹子的弹性特点之外，就只有制作简单这一条优点。因此，如果要制作其他的零部件，应该采用塑料或金属材料，因为它们更容易弯曲。

1.4.21 弯折金属板

当需要弯折金属板时，如果还像折叠纸张那样，仅靠双手来完成，那么弯折处就会变成很不规则的弧形。如果有台钳，可以用台钳先将材料固定，并且使折叠线部分从台钳中稍微探出一些。然后，在台钳的牙口附近，采用一个方材

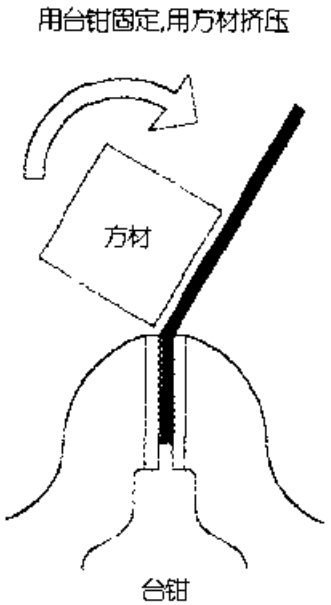


图 1.61 弯折金属板方法之一

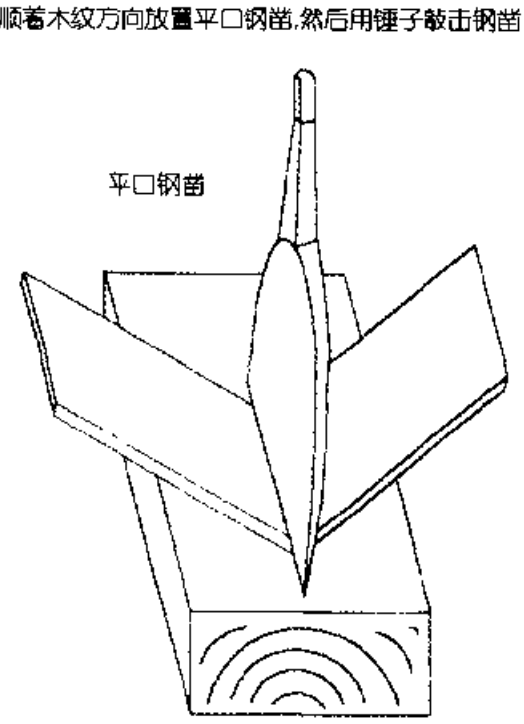


图 1.62 弯折金属板方法之二

对金属板进行整体施压，这样就可以弯折出一个很整齐的棱角来(图 1.61)。

当需要将一些小的金属零部件弯折成 90°时，可以在金属零部件的下面垫上一块厚木块，然后将平口钢凿对准折叠线，用锤子敲击，这样就可以弯折出清晰的折线来(图 1.62)。

如果需要弯折的是很薄的金属板，可以先用尖嘴钳子夹住材料的折叠线，然后，将材料的另一边对准工作台进行挤压，同样也可以弯折出很整齐的折叠线。当采用这种方法进行加工时，需要对整个弯折部分均匀施压，这样才能保证折叠线整齐。

1.4.22 弯折金属棒

如果需要弯折比较细的金属棒，可以用尖嘴钳子夹住要弯折的地方，将金属棒的另一端顶在作业台上，用力挤压就可以了。如果需要弯折稍微粗一些的金属棒材，那么，仅靠双手的力量是很难完成的。遇到这种情况时，应该先用台钳将金属棒牢牢地固定住，再采用弯折金属板的方法，就可以弯折出需要的角度(图 1.63)。有些金属材质比较脆(像黄铜、铝等等)，如果需要将这种材质的金属棒弯折成急弯时，不作任何特殊处理，就可能会造成材料的断裂。当必须弯折这类材料时，可以采用边加热边弯折的方法进行处理。如果加工的方法得当，还可以用 0.5mm 的钢琴线，缠绕出自制的弹簧。弯折金属板也是一样，如果在低温的状态下直接弯折，那么，被弯折的部分就会变硬、变脆(图 1.64)。反过来说，如果能很好地利用金属的这一特性，就可以提高被加工零部件的强度。但是，当需要将折弯后的金属件再重新平直过来时，常常会在材料上留有弯折的痕迹。因此，在加工过程前，应该使用富余的材料进行练习，在掌握了加工要领之后，再进行正式的弯折。

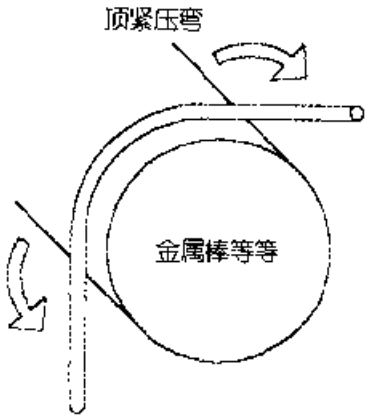


图 1.63 金属棒的弯曲方法

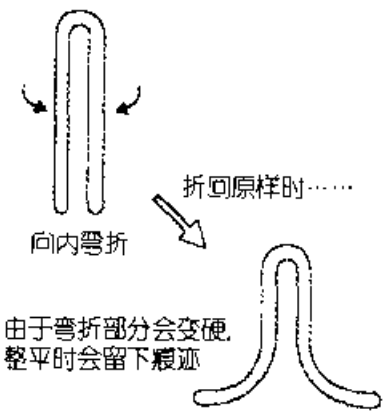


图 1.64 弯折加工所产生的材料硬化

1.4.23 弯折塑料

如果需要弯折聚酯塑料板等材料，可以利用其加热后变软的特点，在弯折前，先将要弯折处进行加热处理，然后，在弯折出需要的角度后将其固定起来，待其完全冷却就可以定型。

如果需要弯折塑料棒材，可以使用小炉子或蜡烛等热源，从远处对材料进行加热，然后用手进行弯折就可以了。如果需要弯折塑料板材，就必须对要弯折的部分进行整体加热，因此，加工难度要大一些。如果学校里有专用的弯折加热器，可以借来使用，否则，可以采用下面的方法进行替代。先用小炉子加热一根金属棒，估计温度差不多时，将加热后的金属棒放到塑料板上要弯折处，然后再进行弯折。采用这种方法进行加工，基本上也可以满足要求(图 1.65)。

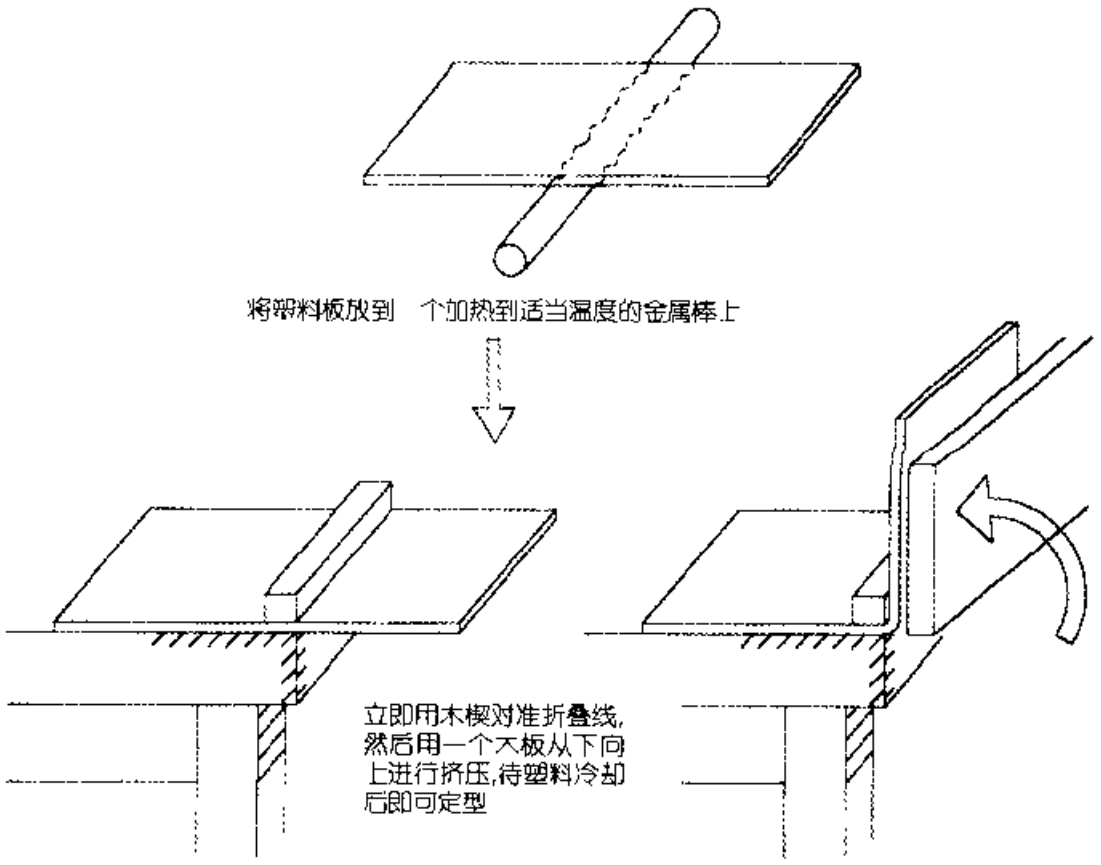


图 1.65 弯折塑料板的方法

1.4.24 润 滑

机器人是一种通过很多零部件连动来产生某种动作的机械。因此，在机器人上有很多地方，要用到齿轮或轴承之类将产生摩擦的零部件。如果能使这些地方润滑，就可以将电机输出的力量高效地传递出去。能够产生润滑效果的物质，不用说自然是油。但是，如果涂在变速箱中的润滑油粘度不够，那么，当变速箱旋转起来时，就会将润滑油飞溅出去。如果飞溅到车轮之类的零件上时，还会带来相反的效果。因此，在这些零部件中，应该使用黏性高一些的润滑油。在购买的变速箱套件中，一般都会附带有这种润滑油。如果手头上没有，可以到材料商店中购买。最近，人们广泛使用一种喷雾式的润滑油。由于它很容易随风飘散，而且，当它结成雾状落到固定用的螺钉上，还会造成螺钉松动，因此，在制作机器人过程中，建议大家不使用这种润滑油。在机器人中，需要注入润滑油的部位有轴承、齿轮的啮合部、连杆装置的关节部分等等。为了减小机器人的转弯半径，不少机器人都采用三轮结构。其中，用一个万向轮作支撑。如果赛场地板比较光滑，还可以采用在家具柜台中出售的滑动效果很好的贴片替代万向轮。另外，对于那些外露在车体下面的螺钉，可以采用黄胶带包裹的方法进行润滑处理。在包裹时，要使胶带的光面朝外。

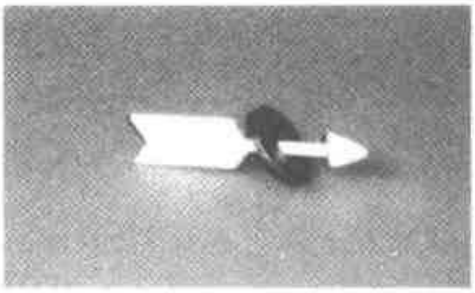


小测验

在制作机器人的过程中，如果能充分掌握并利用材料的某些特性，就可以制作出非常出色的作品来。在这里，给大家出一道利用木材特性的制作小测验。在这里采用的方法，对制作机器人也许没有什么直接的帮助，但可以作为巧妙利用木材特性的一个制作参考。

要制作的作品如下图所示。将一枚5日元的硬币套在一个用木板制成的箭头上。箭头尖部及尾翼的尺寸都要比5日元硬币中间孔径大，因此，箭头自然不能简单地从孔中穿过。不用说，整个箭头是采用一块木料切割制成的，没有使用任何黏合剂。请仔细地考虑一下，怎样才能将5日元硬币套在箭头上。

提示 在这里采用的材料是杉木、云杉木，或者丝柏等比较柔软的木材，并且木纹方向与箭头的方向一致。



答案:见下一节

1.5 制作失败时的求助热线

螺纹秃扣,卸不下来怎么办

在用螺丝刀上螺钉时,如果拧得过紧,就可能使螺钉头部的沟槽被毁,严重时想卸也卸不下来,这样就麻烦了,很难轻易地将螺钉拆卸下来。

如果是用螺钉与螺母固定的,可以用螺丝刀顶住螺钉头部不动,从螺母这一侧试着拆卸。

如果是木螺钉就比较棘手。

如果制作的机器人比较结实,稍加敲打不会损坏,那么,就可以用螺丝刀抵住木螺钉的头部沟槽,用锤子轻轻敲击螺丝刀,使木螺钉的头部在木板上稍微凹陷进去一些,然后再加大压力试着拧动,也许能将螺钉拆卸下来。

如果上述的方法不奏效,可以找一个周围没有障碍物的地方,用一把稍微大一点的钳子夹住木螺钉的头部左右拧动,或许能将木螺钉卸下。

对于怎么也卸不下来的情况,只好用剪线钳将螺钉头部剪掉,或者用锉将其锉掉。此外,还有一种稍稍危险的处理方法,就是用钻头将螺钉头部钻掉。

使用木螺钉将木板拧开裂了怎么办

开裂部分的零件只好重做。对于不便重做的部件,要先将螺钉拆下,然后,用木材黏合剂将开裂的部分粘在一起。待其完全干透后,先用多棱锥在木板上开一个小孔,然后再用一个比原来稍细的木螺钉轻轻地拧上。

答 案

完成这一制作的关键，是木纹方向与箭头方向一致，采用的木材比较松软，并且，这种木材被水浸泡后会膨胀。通常，木材的木纹部分质地都比较坚硬，其他部分则相对较松软些。因此，如果在与木纹垂直的方向上对木材进行施压，则很容易将其压扁。在制作的过程中，要充分利用所选木材的这一特性，按图 2 所示的方式，先将箭头翘起的部分用台钳或钳子压扁，然后套上 5 日元硬币(参见图 3)。接下来，将其放入热水中，让被压扁的箭头膨胀复原。待其完全干燥后，再将尖部修整成箭头的形状。

怎么样，在这一制作过程中是不是非常巧妙地利用了木材的特性。

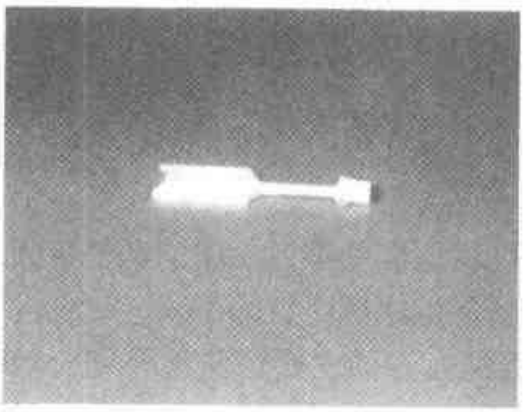


图 1

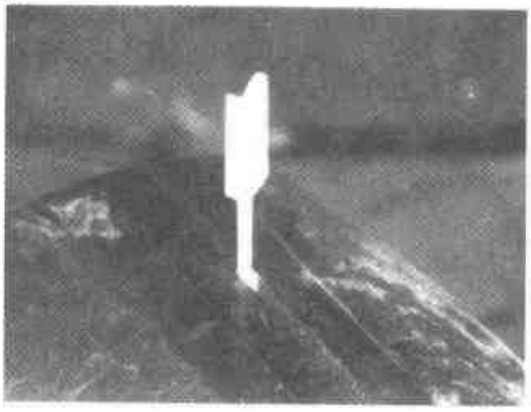


图 2

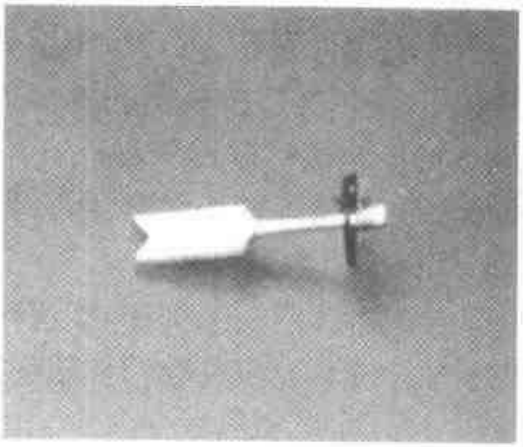


图 3

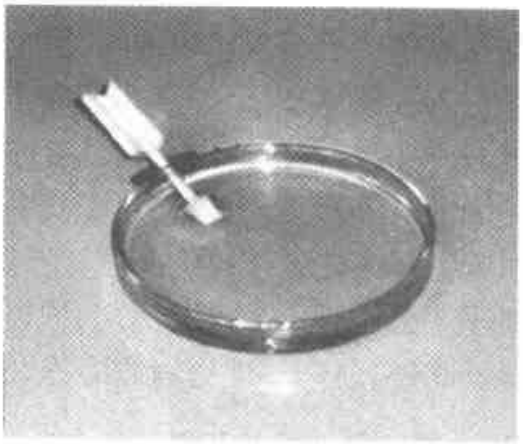


图 4

chapter 2

制作机器人

制作机器人的过程，与改装汽车、轮船以及飞机模型很相似。在制作过程中，可以充分发挥以往的组装经验。但是，制作机器人与改装模型又有所不同，因为你所制作的机器人是世界上独一无二的。能将你头脑中浮现的创意付诸实现，其实是一件非常有意思的事情。

机械应该是可以随时拆卸，并能重新组装的。如果在装配的过程中，将需要固定在一起的零部件全部是由黏合剂粘接，那么，当日后发现某个地方需要改进时，就不能轻易地修改了。因此，在制作机器人的过程中，机械部分应该尽量用螺钉和螺母固定。至于机器人的结构能简化到怎样的程度，就全凭制作者的感觉了。机器人的结构越复杂，其重量就越重，更改时要花费的时间就越多，发生故障时查找原因就越发困难。未来的工程师们，在制作过程中，千万不要忘记这一点。

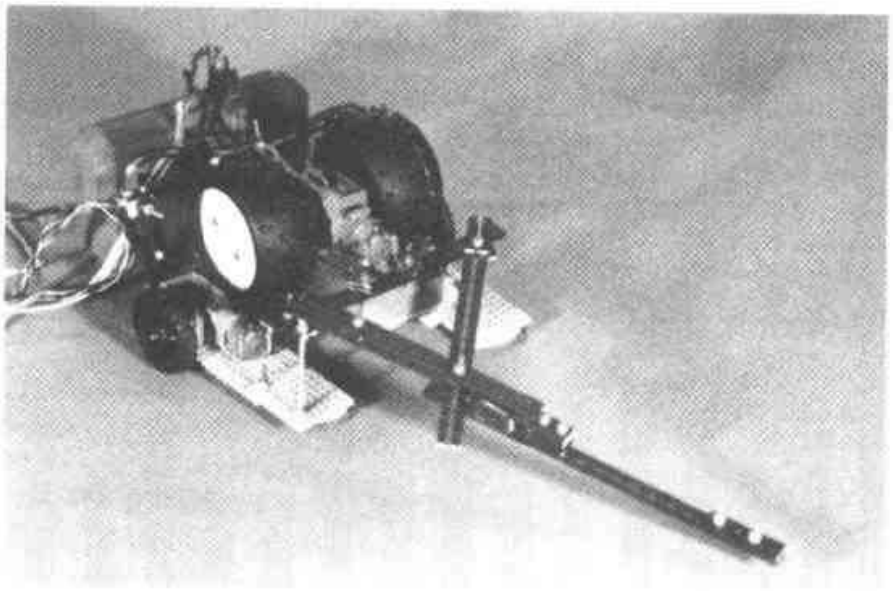


图 2.1 机器人范例

2.1 材 料

下面介绍在制作机器人过程中可以采用的一些材料。在实际的制作中，要根据具体的要求从中选择最适合的材料。在选择材料时，应该根据以下的原则进行挑选：

· 零部件的形状、大小有何要求，比赛规则如何；

· 零部件需要有多大的强度；

· 要选择多大重量的零部件(为了防止跌倒，需要考虑机器人的平衡问题)。

例如，“为了实现垂钓功能，需要一根长度为 15cm 的细长、结实的板状长杆”。

对于这种要求，垂钓杆的自重就不能太大，因此，应该尽可能地选择轻质材料。当要垂钓的物品比较轻(如乒乓球等)时，材质的强度稍差一些也没有关系，可以直接采用模型店出售的制作用细木条。然而，如果要垂钓的是比较重的物品，就需要采用 U 字型角铁等比较结实的材料。因此，在选取材料时应该仔细斟酌，要保证所选的材料能够完成你所期望的动作。

2.1.1 木 材

木材是一种非常优秀的材料。它比金属或者塑料的质地要轻，不易弯曲，而且割断或切削加工都很容易。当需要制作支柱类零部件时，使用木质方材要比使用金属材料更便于组装。相对来说，木材更适合于制作轻型机器人。由于木材不导电，因此，不会产生采用金属材料时所担心的短路现象。

在制作机器人时，3cm 以上的方材，相对来说比较重，也比较难加工。当需要这样的材料时，可以采用版画中使用的椴木胶合板来取代。胶合板的厚度有多种，在选用时，要根据用途和强度要求加以选择。在选用胶合板时，选择质地细密没有木纹的材料，要比选择柳木那样表面粗糙的材料好一些。由于胶合板一般都比较薄，直接使用往往满足不了零部件的强度要求。为此，需要先将它制成箱形，或者通过添加金属加固件来提高强度，这样就可以用木材制作出既轻又结实的车体。

不管怎么说，用金属制成的机器人似乎才给人感觉像机器人。的确，机器人的外观也很重要。但是，如果能同样实现所需的功能，积极采用制作简单的木材为材料，不失为一种了不起的决断。

2.1.2 塑 料

塑料也是一种制作机器人的有效材料。在材料商店中，出售有很多如聚酯塑料板之类的塑料材料。在废弃的日用品中，也有很多可以用来充当机器人的制作材料。因此，在制作机器人时，应该首先从身边寻找制作材料。

在制作运送乒乓球之类的机器人时，可以充分利用超市中使用的发泡塑料包装盒，或者将方形的塑料饮料瓶切下一部分，利用这些材料的形状可以制作

出机器人中装载物品的部件。当需要选用板材时，如果强度要求不高，可以采用很容易找到的瓦楞塑料板。在建筑行业，这种材料原本是用来保护玻璃的。如果在两张瓦楞塑料板之间夹入发泡塑料，还可以制作出具有很高强度的轻质部件。在加工瓦楞塑料板时，利用其加热后质地变软的特点，采用加热的金属棒作支点进行按压的方法，可以轻易地弯折出各种形状的零部件。此外，还可以利用废弃车船模型的零部件，通过去掉多余部分，采取与其他零部件组合等方法，或许还能使这些废弃物焕发出新的活力。

2.1.3 金 属

在日常生活中很少能看到出售金属材料的。但是，在五金商店、材料商店的金属加固件货架边，大家一定看到过铝板和金色的黄铜板吧。此外，根据具体的用途，还可以充分利用金属网、铁丝，以及有很强弹性的钢琴弦等作为制作材料。由于铝板不能用焊锡焊接，因此，在组装铝制零部件时，要先钻一个孔，然后用螺钉进行固定。铜板和黄铜板可以用焊锡进行焊接。有的商店还出售不锈钢板，由于这种材料加工起来比较困难，因此，在制作机器人时最好不用。

由于金属可以弯曲，因此，当需将它们贴合在一起时，可以通过弯折的方法加以解决。金属具有被弯曲后弯曲的部分会变硬且不易复原的特点，因此，在购买材料时应多购入一些。这样就可以在加工前先进行试弯曲，在掌握了加工要领之后再进行正式的加工制作。

如果有工具，加工金属材料要比想象的简单。材料不同，加工的难易程度可能会有所不同。一般来说，在对厚度在 1mm 以上的金属进行弯折或切割时，需要使用特殊的工具，加工起来比较困难。另外，当金属材料比较短时其强度很高，随着尺寸增长，金属材料会因自重发生弯曲，因而达不到预想的强度。在制作小型机器人时，可以采用将金属薄板两边卷起的方法来增加其强度，应该尽量避免使用比较厚重的金属材料。

2.1.4 纸

大家可能认为纸质材料不适合制作机器人，其实不然。制作机器人时，重要的不是外观而是性能。纸质材料具有重量轻、容易切割、易于制作成立体形状的特点。通过采用特殊的方法，还可以制作出具有很高强度的结构。因此，纸质材料具有很多优点，也是一种很好的制作材料。例如，先将纸制成波纹形后，就可以用它制成自制的瓦楞板；将纸卷成纸筒后扎成捆，还可以用它制成具有很高强度的结构。像绘图纸、瓦楞纸(制作用纸)、牛奶包装盒等等都具有很

强的抗拉伸性能，在制作机器人时应该充分加以利用。绘画纸比较柔软，更适用于装璜。

2.1.5 FRP

当需要制作具有漂亮曲线，而且具有一定强度的车体时，可以采用 FRP。FRP 是在由玻璃纤维、碳纤维等材料织制成的布上，浸入树脂后硬化而成的。在浸入的树脂中，可以使用聚酯树脂、环氧树脂等材料。当采用聚酯树脂时，需要掺入少量的硬化剂；当采用环氧树脂时，要将树脂和硬化剂按 1：1～5：1 的比例进行混合。混合后，树脂就开始硬化(参见图 2.2)。

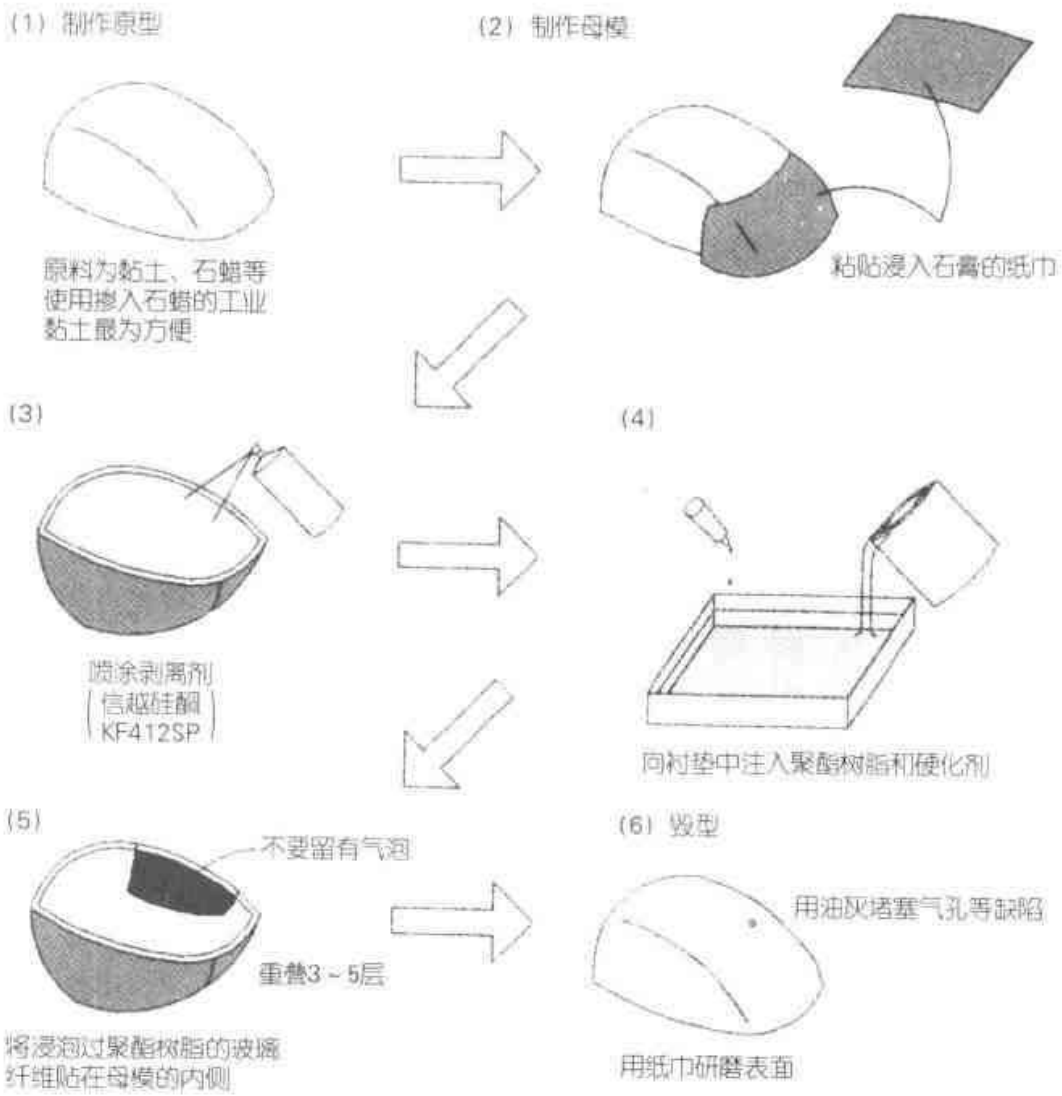


图 2.2 车体成型的方法

2.1.6 螺 钉

螺钉的种类有很多，按头部形状的不同可以分成圆头螺钉、平头螺钉、蝶形螺钉、六角螺栓等多种。此外，还有像木螺钉那样前面尖尖的，以及要用螺母来固定的螺钉等等。不同的螺钉，大小和形状各不相同。在采用螺钉固定时，如果螺钉头部外露会产生妨碍，可以选用平头螺钉。用钻头钻一个锥形孔，就可以将螺丝头隐藏起来使固定处的表面平坦。用于固定车轴的内沉螺钉是没有头部的，取而代之的是它有一个六角形的孔，这种螺丝也被称为内沉六角螺钉。螺钉上面都会刻有细密的螺纹，这些螺纹分为英制和公制(meter)。不同螺钉的节距不同，不能使用同样的螺母进行固定。通常，市面上出售的螺钉称为ISO(国际标准)螺钉，它是一种公制螺钉。

在制作机器人时，经常采用直径为 3mm 的螺钉。如果需要采用更细的螺钉，由于其头部很小固定时需要使用精密螺丝刀。螺钉头部沟槽一般为加号(+)形和减号(-)形，也有六角孔形。在使用内沉六角螺钉时，需要使用六角搬子。

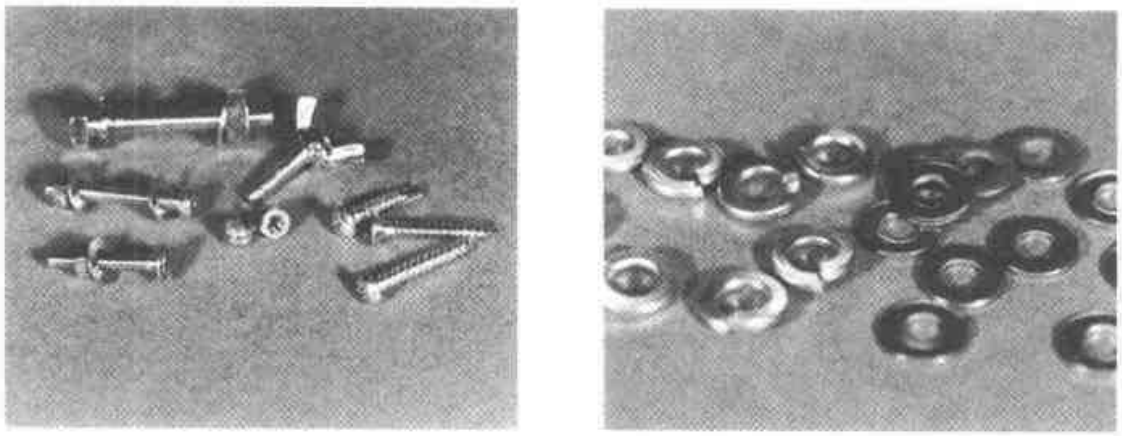


图 2.3 螺 钉

2.1.7 金属加固件

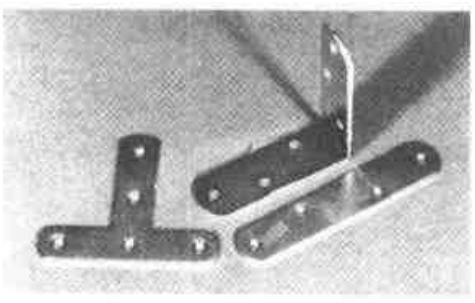


图 2.4 金属加固件

如果要连接部件间的接触面小、强度不够，就需要采用金属加固件进行加固处理。金属加固件的种类有条形、L 形、T 字形、直角形以及画框边缘用的直角形。此外，还可以使用自制的金属加固件。在材料商店中，出售有种类齐全的金属加固件。

2.1.8 专用零部件

在市场上，出售有制作机器人时使用的各种零部件及套件。有履带套件、开有均匀孔的塑料带、金属材料、轴承，以及在关节中使用的零部件等等。在套件盒中，都会附有一个详细的组装说明书，在这里就不作说明了。由于套件中有些零件比较小，如果不注意掉到地板上就会找不到，因此，最好准备一些小袋、小碟之类的东西来盛放这些小零件。在组装时，应该注意不要让这些小零件掉到地上。

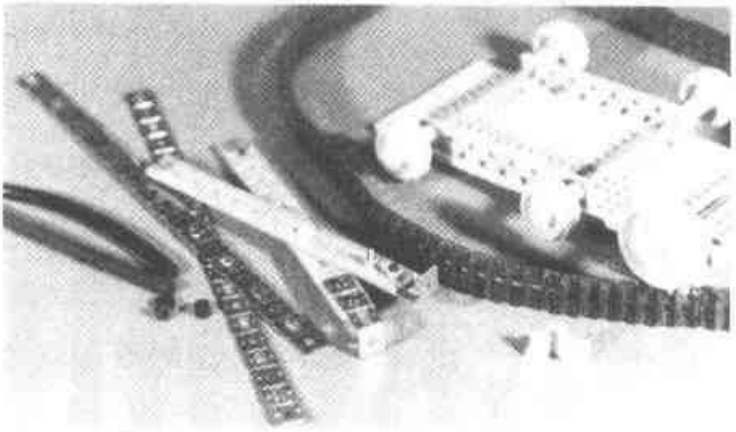


图 2.5 专用零部件

2.1.9 胶 带

在短期决赛的机器人赛场上，胶带经常大显身手。胶带的种类很多，在使用时要根据需要加以选择。与黏合剂一样，在使用胶带时，需要将粘贴面上的灰尘、水，以及油等杂物擦拭干净，这一点非常重要。通过采用特殊的方法，还可以用强度高的胶带制作出像折页那样能够活动的零部件。

绝缘胶带 为了防止电线短路，可以采用这种胶带将配线的连接部分缠绕起来。此外，还可以用它来整理配线，区分不同颜色的配线。

黄胶带 这是一种在纸带上涂有粘性很强的黏合剂制成的胶带，也称箱包胶带。具有廉价、强度高、使用方便等优点。但是由于没有涂胶的一面表面光滑，重叠粘贴时效果不理想。但是，利用其表面光滑的特点，可以作为一种降低摩擦的有效材料。

布胶带 这是一种与黄胶带类似的胶带，由于材质中含有纤维，因此，粘合部分具有很高的强度。具有易于剪切及可以重叠粘贴的特点，常用于固定、加

固以及紧急修理。

透明胶带 这是一种使用起来比较方便的胶带，但用在需要承力的地方，一般强度不够。而且，在粘接纸或木材等多孔性材料时效果不好。此外，还有一种与透明胶带相似的透明胶片，它的宽度同布胶带差不多，这种胶带，在固定塑料时非常有效。

铝胶带 这是一种在修理上下水道时经常使用的胶带。由于其自身具有一定的强度，因此，更适合用作加固处理。

海绵填充条 是一种用于填充门窗框间隙的海绵长条。同胶带一样，在填充条的一侧涂有黏合剂。由于海绵的摩擦系数大，因此，如果将这种海绵填充条缠在车轮上，能够起到一定的防滑效果。

双面胶带 是一种在市面上经常看到的、具有很强黏性的建筑用材料。可以用在机器人的配重、货台固定等方面。如果长期放置，这种胶带的黏合力就会下降。

2.1.10 黏合剂

黏合剂的种类有很多，在使用时要根据具体的用途加以选择。在这里，介绍一下常用黏合剂的性质及用途。

在使用黏合剂时，有一个共同点需要注意。那就是在使用前要将粘合面上的灰尘、油等杂物清除干净。如果粘合面不干净，粘合后的强度就会大幅度地降低。在清除杂质时，如果要粘合的材料是纸和木材，可以用抹布擦去杂物；如果要粘合的材料是金属、塑料等材料，就需要用中性的洗涤剂仔细清洗，清洗后不要用手去接触摸粘合面。



图 2.6 塑料乳胶类黏合剂

塑料乳胶类黏合剂 塑料乳胶类黏合剂是一种白色的黏合剂，在市场上出售的此类产品中，有“木工胶”等多种。它是将醋酸塑料溶于水后制成的一种黏合剂。主要用于粘合木材、纸、发泡塑料等材料。由于它是水溶性的，因此，干燥前可以很容易地用水稀释或者用水洗掉。干燥后，它的抗水性比较强，即使粘些水也没有关系。它是目前使用最广的一种黏合剂。

醋酸塑料树脂溶液类黏合剂 这是一种将醋酸塑料溶于酒精等溶剂中制成的一种黏合剂。市场上出售的这类黏合剂都是无色透明的。这种黏合剂主要用来粘合发泡塑料。由于发泡塑料抗辛那水等有机溶液的能力差，因此，当需要粘接这类材料时，必须使用专用的黏合剂，或者是使用水性的塑料乳胶系

列黏合剂。虽然水性黏合剂不会溶解发泡塑料，但由于它不吸收水分，采用这种黏合剂粘接发泡塑料时，就要比粘合纸或者木材要花费更多的干燥时间。因此，对于这种情况，选用发泡塑料专用的黏合剂会更方便些。



图 2.7 醋酸塑料树脂溶液类黏合剂

合成橡胶类黏合剂 市场上出售的合成橡胶类黏合剂有很多，这些黏合剂的用途各不相同。此类黏合剂的颜色有多种，常见的有无色透明、棕色、灰色。此外，这类黏合剂的包装也多种多样，常见的有软管式、罐装、喷雾式等等。除了发泡塑料、聚乙烯、聚四氟乙烯这些极少数的材料外，合成橡胶类黏合剂几乎能粘合所有的东西。而且，这种黏合剂在硬化后具有一定的弹性，因此，更适合粘合皮革、橡胶制品、布匹等材料。另外，由于它的黏附性极好，因此，使用这种黏合剂极少发生粘合处暴皮脱落等现象。



图 2.8 合成橡胶系列黏合剂

使用合成橡胶系列黏合剂的要点是，先将要粘合的两个面都涂上黏合剂后放置，当黏合剂快要干燥时，再将两个粘合面挤压在一起就可以了。

环氧树脂类黏合剂 在市场上，这类黏合剂常以“超级胶水”、“环氧树脂”等名称出售。在使用前，要将胶水和硬化剂这两种溶液按 1∶1 的比例进行混合。前面介绍的黏合剂都是通过水或溶剂蒸发后硬化的，而环氧树脂类黏合剂是通过两种溶液混合后发生化学反应硬化的。由于这种黏合剂硬化后不会发生体积的变化，因此，它还可以作为一种填充间隙或凹陷的材料。



图 2.9 环氧树脂系列黏合剂

环氧树脂系列黏合剂同橡胶系列黏合剂一样，几乎可以用来粘合所有的材料，但很少用来粘合纸张或者布匹。它们的硬化时间有 5 分钟、30 分钟、24 小时等多种。一般来说，硬化时间越长粘合后的强度就越高。在制作机器人时，大多采用硬化时间为 30 分钟的黏合剂。但是，这个 30 分钟，是指将粘合面挤压在一起放置 30 分钟就可以了，但粘合部分所能达到的最终强度，还要再过很长时间才能确定，这一点请大家注意。

氰基丙烯酸类黏合剂 在市场上出售的此类产品有“阿龙 α”，这是一种瞬间型的黏合剂。瞬间型黏合剂是在一定温度下，通过与空气中的水发生化学反应而硬化的。普通的瞬间黏合剂像水一样没有粘性，因此，常用于粘合金属和

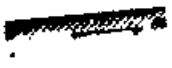


图 2.10 氰基丙烯酸类黏合剂

陶瓷等不能吸收液体的材料。在粘合木材时，还是应该采用具有一定粘性的黏合剂。如果不小心将这种瞬间黏合剂粘到手上，可以用清洗指甲油的除光液来去除。

2.2 工 具

2.2.1 锯

锯的种类很多。在制作机器人的木件加工中，由于常常需要切割比较细的方材，因此，采用锯齿小的锯，既利于切割，切口也会整齐。有的锯还采用与裁纸刀相同的结构，在不用时能将锯条收起来。当需要将材料的断面切成直角时，在材料上面放置一个成直角的方材，顺着这个方材下锯，就可以轻易地锯出直角。在切割时，不要过分用力，要慢慢地匀速拉锯。这样才能保证断面整齐，并且可以减少后面的锉刀修整工作量。

在使用锯进行加工的过程中，要避免材料振动；在开始和结束时，都要慢慢地拉锯；当材料快要切断时，要将材料支撑起来；在拉锯的过程中，不让锯条左右晃动。如果注意了上述问题(加工要领)，就能保证锯出的断面很整齐。

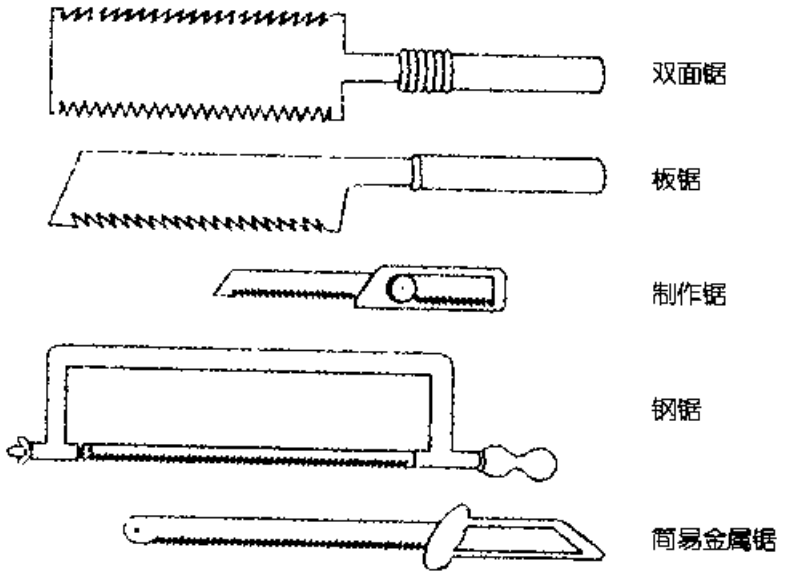


图 2.11 各种常用锯

2.2.2 刨 子

当需要制作一个平整的平面时，使用刨子是最恰当的。但是，如果没有掌握刨子的加工要领，使用刨子进行加工，反而会将被加工零部件弄得伤痕累累。学会使用刨子，应该是技术工作者的一个基本素质。在使用刨子时，应该注意以下几个问题：

· 在上刀时，刀刃从刨子底面露出的越少，刨出的平面就越平整；

· 每次推刨时，从开始到结束，前后用力要相同，这样才能使刨出的平面平整；

· 在推刨过程中，要像拉网那样全身用力，这样才能使刨出的平面平整。

在正式加工前，一定要先准备一块练习用的材料。调整好刀刃后，再进入正式加工。上刀时，需要将刨子倒过来，使刀刃仅从刨子底面稍微露出一点，并使刀刃与底面成一条平行线。如果从侧面就能够看到刀刃，多半可以说刀刃露出过量。上好刀后，要先在练习材料上试一试。开始试刨时，刀刃可能会吃进木材中。当调整刀刃使刨花能够达到薄、宽、长的时候，就说明刀刃已经调整好。刚开始练习调整刀刃时，一定要小幅度地增减进刀的深度。

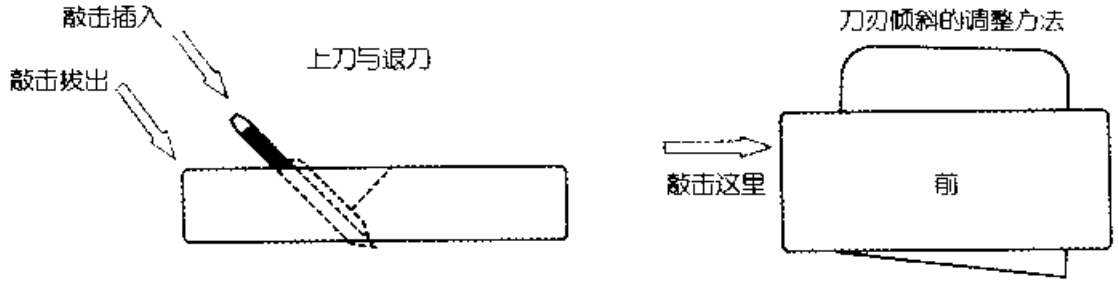


图 2.12 刨子刀刃的调整方法

2.2.3 裁纸刀

在很多场合都会用到裁纸刀。在制作机器人时，应该准备一个把手粗一些，容易使上劲的裁纸刀，它的主要用途如下：

剥去配线的绝缘层（剥皮） 将裁纸刀的刀刃对准配线，压紧后转动配线，就可以很整齐地将配线绝缘层（皮）剥掉。当需要去除漆皮线的漆皮时，如果采用砂纸打磨的方法，就会在配线上留下凸凹不平的斑点；如果将裁纸刀的刀刃放平，采用边转动漆皮线边切削的方法，就能很轻松地将漆皮剥离干净。

切割纸板和瓦楞纸 在切割此类纸制品时，要先将刀刃穿透材料，然后，用力按住裁纸刀，顺着切割线移动刀刃。在移动刀刃的过程中，一定要按住材料使其不会发生移动。而且，如果按压的部位靠近切割线，就能保证切割顺畅，不会中途弄坏材料。

切割塑料板 在切割塑料板时，可以使用专用的切割器。将钢板尺对准切割线后压住，多次重复拉动切割器，就可以切出一个切割槽，然后顺着切割槽掰折塑料板，就可以将塑料板掰断。最后，再用锉刀修整一下断面就可以了。

切削材料 裁纸刀可以用来代替小刀进行切削加工。当需要将木材的一部分削掉时，就可以使用裁纸刀。在切削时，如果推刀的力量过大，就可能造成裁纸刀的折断蹦出。因此，在切割时不要过分用力，拉动式的切削效果会更好些。

切割薄胶合板 如果要切割厚度 3mm 左右的胶合板，也可以用裁纸刀。在切割时，需要稍稍用力。先将金属尺对准切割线牢牢地按住，然后用裁纸刀轻轻地划割出一个切割线，最后多次重复地切割下去就可以将其切断。如果胶合板的面积比较大、不能用丝锯切割时，采用这种方法反而能更快地完成任务。

2.2.4 剪 刀

由于剪刀的使用方法大家非常熟悉，在这里就不需要进行介绍了。但是剪刀的种类有很多，根据要切割材料的不同，采用的剪刀也不相同。如果用剪布的剪刀剪切纸板，那么，再剪布时剪刀就不快了。一般来说，要切割的材料越硬，其刀刃部分就会越厚。剪刀是采用从两个相反方向，对被剪材料加力切割的结构。要切割的材料越薄、越软，其剪刀的刀刃就越薄且锋利(像菜刀一样)。因此，一定不要用剪刀切割导线、铁丝之类的金属材料。这样会使剪刀卷刃，以后使用起来就不快了。

2.2.5 钻 头

钻头的种类有很多，从直径 1mm 以下到 10mm 以上，有多种规格。另外，根据被钻孔材料的不同，又分为金属用、木材用、薄板用、厚板用等多种类型。在制作机器人时，通常使用 3mm 的螺钉和转轴，钻孔时要使用比孔径稍微粗一些的钻头。例如，当需要钻一个 3mm 的螺钉孔时，就应该采用 3.2mm 左右的钻头。这样在穿入螺钉时才不会感到吃力。但是，钻头的直径又不能太大。如果车轮轴的直径为 3mm，若采用 4mm 的钻头钻孔，那么，由于轴孔间隙太大，车轮轴将会因振动而不能正常地工作。当需要自制齿轮传动机构、钻轴固定孔

时，应该采用与轴直径相近的钻头(例如 3.1mm)，而且还要保证钻孔的位置精确。

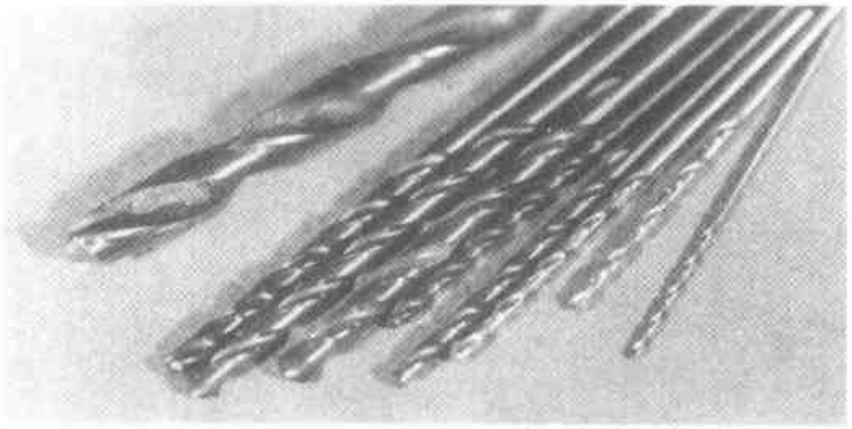


图 2.13 钻 头

2.2.6 板牙与丝锥

在螺钉上都会刻有规则的螺纹。这种螺纹也可以自己做。换句话说，自己可以在一根金属棒上车螺纹，然后直接用螺母进行固定。为此，需要使用台钳、板牙以及板牙搬手。这种加工过程也称为车螺纹。

在车螺纹时，要先将金属棒用板材夹住后用台钳垂直固定，然后，将板牙水平对准金属棒。接下来，按照拧螺丝的方向，一点点地转动板牙搬手。在正转几圈之后再反转几圈，以去掉切削下来的铁屑。就这样，在板牙通过的地方就会车出螺纹。通常给人的感觉是车螺纹需要采用很复杂的机械设备，其实，采用板牙这么简单的工具，同样可以车出螺纹来。

此外，在金属板上开出的孔中，还可以车出同螺母内侧一样的内螺纹来，需要的加工工具称为丝锥。它的使用方法同板牙相似，需要先将开孔的金属板固定住，然后，将丝锥插入孔中，水平转动丝锥就可以车出内螺纹来。

板牙与丝锥一般为 3 件套，分别用于粗加工以及精加工等不同用途。各个工具上都会带有序号或符号，在使用中不要搞错。另外，根据被加工材料粗细的不同，使用的工具尺寸也不相同，千万不要用错了。在加工的过程中，有时会遇到工具发紧，拧不动的现象。如果遇到这种情况，可以在工具上滴入一些轻质的机油，这样就能够顺畅地车出螺纹来(参见图 2.15)。

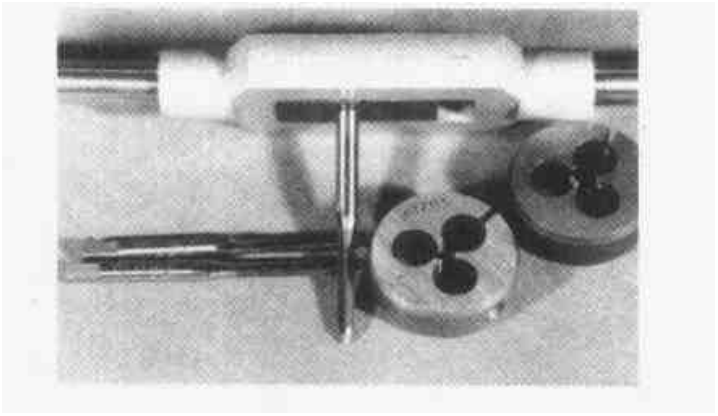


图 2.14 板牙与丝锥

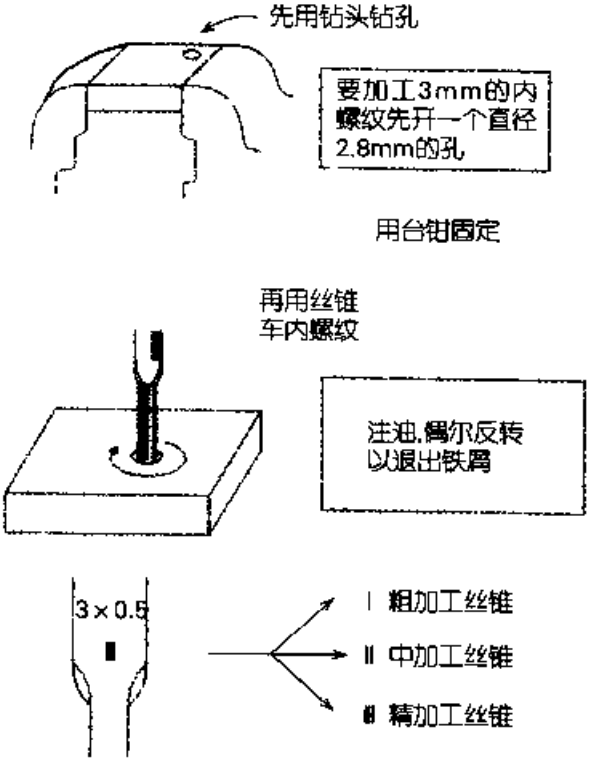


图 2.15 内螺纹的加工方法

2.2.7 螺丝刀

螺丝刀是一种用力大小很难掌握的工具。如果使用方法不当,原以为会拧得很紧,结果反而变松。

在使用螺丝刀时,首先要保证螺丝刀与螺钉头部的形状相匹配,这一点非常重要。在选择十字形螺丝刀时,要保证螺丝刀的头部能与螺钉头部的"+"完全匹配,不会产生松动。第二点,要掌握好按压力与拧动力的大小比例。假设

按压力为 10，那么，拧动力应该保证在 5 左右。也就是说，在使用螺丝刀时，按压力要比拧动力大一些，这是使用螺丝刀的要领。第三点，就是要保证在拧动的过程中，按压力的方向要与螺钉成一条直线(图 2.16)。

当螺钉上好后，应该再稍微拧一下。这时的用力大小非常关键。特别是采用木螺钉固定时，如果拧动的力量过大，那么，螺钉的作用就会像钻头一样，变成了钻孔而不是固定了。另外，如果需要用螺钉固定金属或塑料，如果用力方向与螺钉方向不一致，就可能造成螺钉头部被拧秃。在使用螺丝刀时，用力大小非常关键，只有通过多次练习，才能正确地掌握用力的程度。

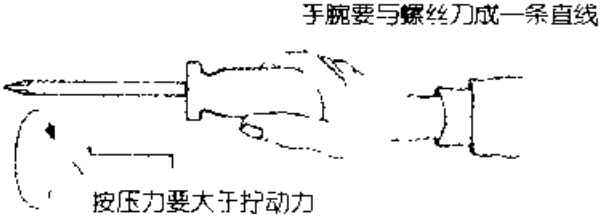


图 2.16 螺丝刀的使用要领

2.3 加 工

2.3.1 锡 焊

当需要将导线或零部件紧紧地连接在一起时，最常使用的一种方法就是用焊锡焊接(简称锡焊)。锡焊不是靠熔化金属实现铜线间的机械性连接，它是靠焊锡与铜之间形成合金来实现电气上的连接。虽然已形成了机械性的连接，但是，如果铜线与焊锡之间的交界处存在间隙，那么，经过很长的时间后，在这个间隙中就会渗入极少的水分。在这种状态下长时间地流过电流，间隙处就会发生氧化反应，生成一种能够阻碍电流流动的氧化膜。当这种氧化膜将焊点处的铜线完全包裹起来时，就会造成处理小信号的电子线路在此处发生电气断开。这样的焊点称为虚焊。为了杜绝发生这种情况，在焊接时，一定要保证焊接点可靠，不存在间隙。

在制作参赛机器人时，一般使用 15～30W 的电烙铁，焊锡采用直径为 0.8～1.0mm 内含助焊剂的焊锡，这种焊锡使用起来非常方便。

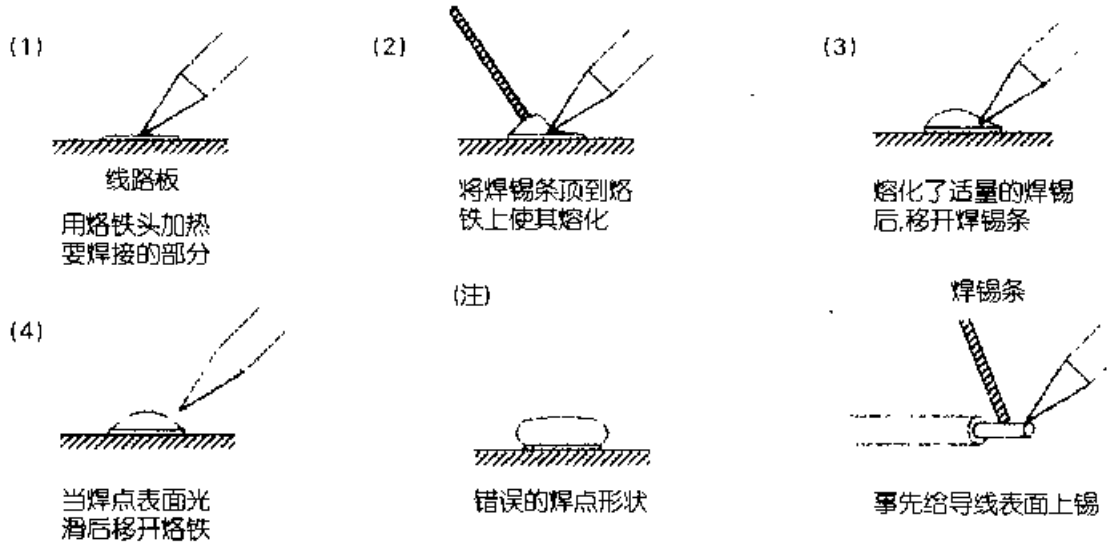


图 2 17 锡焊的顺序

2.3.2 压接端子

当要连接的配线上流有比较大的电流时(如电源电流),为了保证连接的安全可靠,不能采用插头或锡焊的方法,应该采用螺丝固定的方法进行连接。当遇到这种要求时,采用压接端子进行连接是比较方便的。压接端子是将导线插入比较坚硬的铜管中,然后,通过将铜管压扁,就可以使导线与压接端子紧紧地连在一起。再将两个压接端子用螺钉固定,就能实现配线的可靠连接。

虽说要将铜管压扁,但不是扁平式的,而是像图 2.18 所示的那样,必须将铜管压成将电线紧紧包裹起来的形状。为此,需要采用图 2.19 所示的专用压接钳。为了保证压接效果可靠,这种工具采用了特殊的结构,当压接力达不到一定程度时,工具就不能打开。如果感到这种工具太奢侈,可以到家政中心购买更便宜的压接工具。

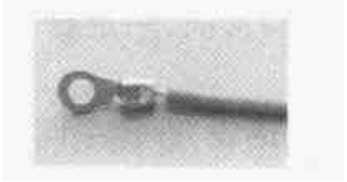


图 2.18 压接状态

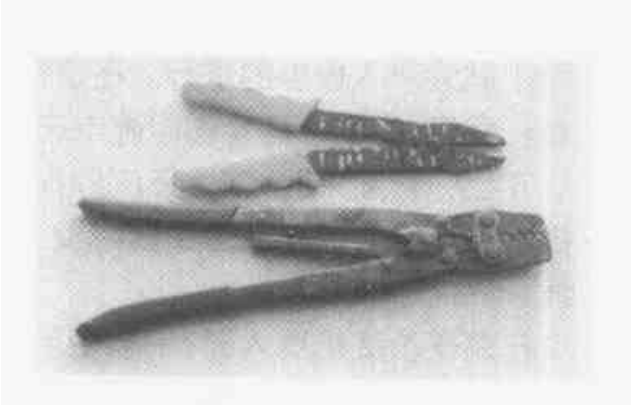


图 2.19 专用压接钳

压接端子有很多类型。在使用时，要根据导线和压接螺钉的粗细以及端子形状的不同，选取相应的类型。另外，有的压接端子，在压接管部分还包裹有绝缘管。在图 2.20 中，列出了常用压接端子的形状与名称。

压接端子通常采用 1.25-4 的形式表示其尺寸的。"-"前的数字表示插入导线的管内径，"-"后面的数字表示端子孔径或者开口部分的宽度。

在材料店中，销售电线的柜台一般都会出售压接端子。采用压接端子进行配线连接时，不需要进行锡焊，将连接有这种零件的导线压接在一起就可以了。因此，这也是一种可靠的连线方法。

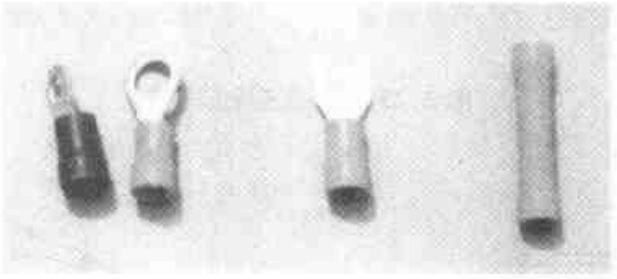


图 2.20 压接端子(左起环形、铲形、中继端子)

2.3.3 绕线柱

绕线柱是利用压力将导线与端子连接起来的。如图 2.21 所示，它是将去掉绝缘包皮的导线按螺旋状紧密地缠绕在绕线柱上。由于这种连接方法不使用焊锡，为了确保导线与端子能够实现电气连通，就必须用高压将导线与端子挤压在一起。压接端子是利用特殊的压接工具获得高压，从而将导线与压接端子压接在一起。绕线柱是通过将导线缠绕在方形的接线柱上，使应力都集中在图 2.22 所示的绕线柱四个角的极小部位上。由于导线是被拉抻后缠绕在绕线柱上的，因此，通过导线本身的收缩力与外部拉抻力的共同作用，就可以使导线牢固地接在绕线柱上。

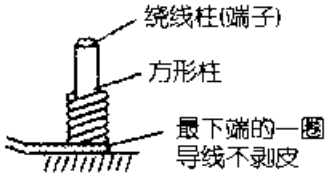


图 2.21 导线的缠绕方法

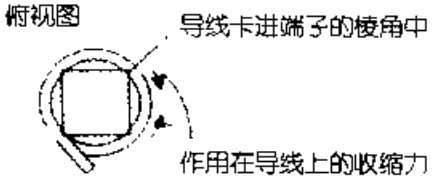
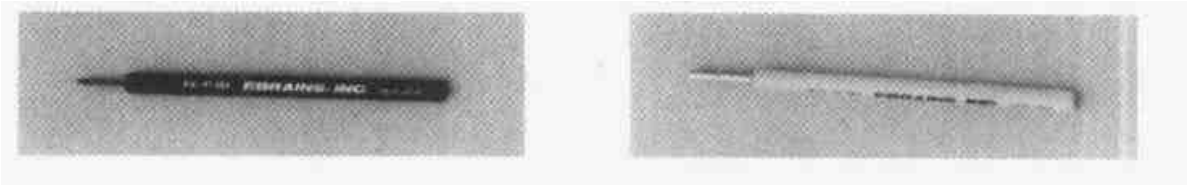


图 2.22 端子与导线的接触状态

采用线缆技术进行连接也采用铝制的套件而是塑料，同具有相下的重



chapter 3

机器人的设计

在制作机器人时，有两个问题需要解决。一个是要确定在目标场地的移动方式。再有一个是要确定实现动作的结构。例如，应该采用怎样的结构，实现将乒乓球拾起并装入得分区的动作。为了解决这些问题，首先要作如下准备：

- 仔细阅读比赛规则；
- 确认采用的方案是否符合规定；
- 收集大量的相关信息，是否有上次大赛的信息；
- 画出各种草图（形象图）；
- 用纸板和图钉检验所设计的方案能否完成预想动作。

根据以上的结果，绘制标注有实际尺寸的图纸。

在这里，将在机器人设计中经常遇到的一些问题，分成① 机器人的动作；② 机械零件；③ 电气零部件；④ 机器人的动力等几个部分，分别予以介绍。

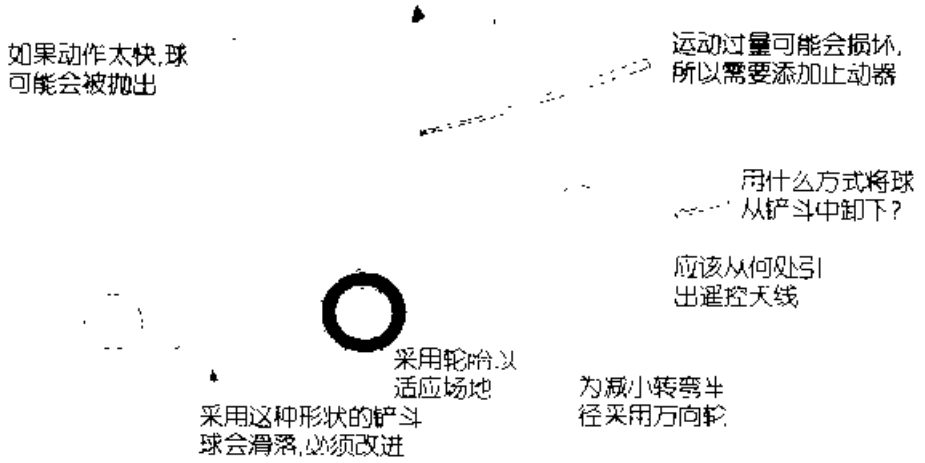


图 3.1 草图范例

3.1 机器人的运动

3.1.1 摆 杆

在设计机器人的手臂动作时，要着重考虑手臂动作的大小和运动范围。制

作者都希望机器人的手臂动作要大能大、要小能小，并且，希望仅仅通过改变手臂的长度，就能更换作业的场所。

对于这种要求，可以利用杠杆原理，通过摆杆的摆动来控制手臂的位置和运动范围。实现这些动作的基本结构是一种称为曲柄摆杆的机构。这种机构是通过在变速箱的输出轴上安装一个曲柄，在曲柄上连接两个连杆组成的。

接下来，开始设计机器人在作业时需要完成的动作。作为一种先期准备，应准备好纸板、图钉，以及固定图钉用的木板。先用纸板剪出几个条形杆，然后按图 3.2 所示的方式，用图钉将它们固定并组装成连杆机构。在组装时，在图中的○位置上，将图钉的尖部朝上，在●位置上，将图钉的尖部朝下插入木板中。组装完毕后，将短纸板条当作曲柄试着转动。大家会看到，随着曲柄的转动，连杆会将摆杆吊起。这就是所设计机械的基本运动。按上述方法制成的机构，是由连杆连接摆杆，通过曲柄的转动实现所要求的运动。因此，也称为曲柄摆杆机构。

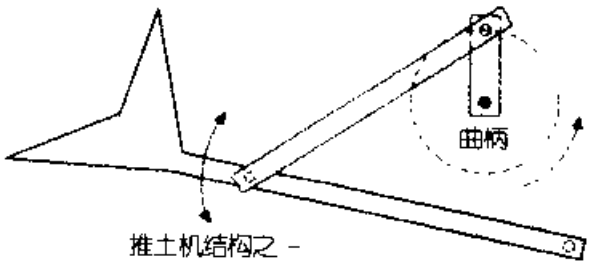


图 3.2 曲柄摆杆机构的应用

也就是说，它是将曲柄中心设想成变速箱的输出轴，在这个轴上通过安装由各种连接杆组合的机构来产生希望的动作。为了提高工作效率，可以按实物大小的 1：1 或 2：1 来制作试验模型，采用这样的比例便于日后的实物制作。

3.1.2 连 杆

连杆是一种在构造机器人动作时使用的连接杆。由多个连接杆组成的机构，称为连杆机构。

3.1.3 曲 柄

曲柄是一种将转动轴的转动变换成各种其他形式运动的零件。

在设计曲柄机构时，如果需要输出的力比较大，就应该减小曲柄的长度，曲

柄的运动范围也将随之减小。相反，如果要增大曲柄运动范围，就应该增大曲柄的长度，但曲柄输出的力也将同时降低。如果需要更大的运动范围，就需要用金属或者塑料制作延长零件。通过改变变速箱中的齿轮组合，也可以改变曲柄输出力的大小。

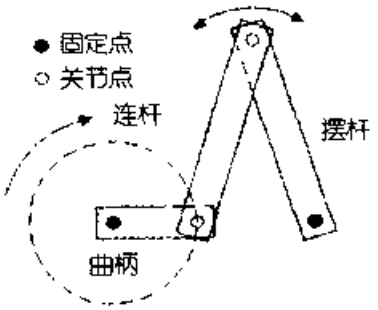


图 3.3 曲柄摆杆机构

在机器人的制作过程中，经常会出现曲柄空转，因而无法驱动从动件工作的故障。遇到这种情况时不要强行转动曲柄，应该彻底查明产生故障的原因。其中比较常见的现象之一，就是用手指转动曲柄时能够正常工作，当实际连接变速箱之后就不能正常工作。产生这种现象的原因多半是由于转动轴与曲柄的连接固定不牢。当遇到这种情况时，要设法进行转动轴的防滑处理。

如果转动轴是六角形的，可以通过拧紧固定曲柄的螺钉来实现防滑处理。如果转动轴是圆柱形的，就需要用锉刀在转动轴上锉出一个平面，用一个固定螺钉将曲柄零件固定在这个平面上。采用这种方法，可以解决圆柱形转轴的滑动问题。

3.1.4 滑 块

当需要机械构件在同一轨道上准确地实现往复运动时，可以通过开引导槽，组装能够沿着这个引导槽运动的连杆机构，来实现此类运动(图 3.4、图 3.5)。这种机械构件称为曲柄滑块机构。如果将引导槽开成曲线形，还可以使滑块实现曲线运动。滑块的固定方式，不仅可以采用沟槽方式，还可以采用船浆固定件那样的外支撑方式，也可以采用从往复运动杆两侧支撑的方式。如果在连接杆中开一个沟槽，由曲柄带动滑块在其中滑动(参见图 3.6)，就能构成产生将物体向上举起的动作机构。在实际制作过程中，经常采用这种方法。

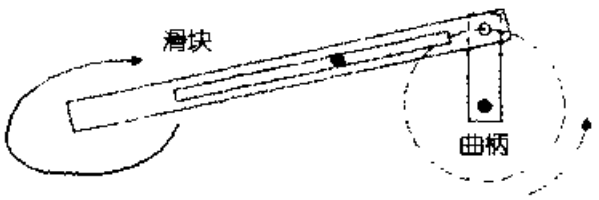


图 3.4 曲柄滑块机构范例之一

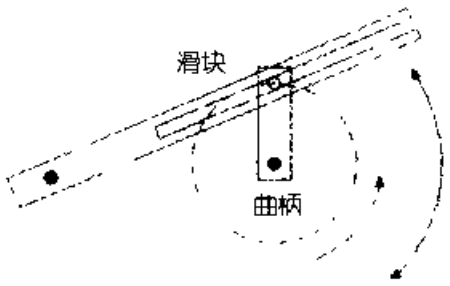


图 3.5 曲柄滑块机构范例之二

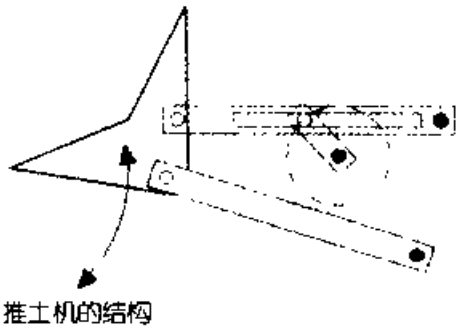


图 3.6 曲柄滑块机构的应用范例

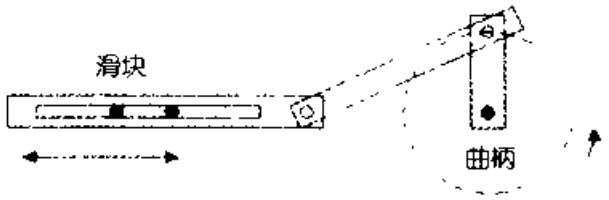


图 3.7 曲柄滑块机构

3.1.5 凸 轮

当通过杆的组合结构不能实现所要求的动作时，可以采用凸轮机构来试一试。

如果在变速箱的输出轴上安装一个凸轮，就会产生基于杠杆原理的运动。与采用曲柄机构不同，在采用凸轮的结构中，通过改变凸轮的形状可以构造出能够急剧下降、缓慢上升之类带有变化的运动。如果将完成往复运动的摆杆搭在三角形的凸轮上，那么，这个摆杆就会在进行往复运动的同时作上下运动。像这样，通过在一些关键位置上安装特殊形状的凸轮，就可以简单地构造出相当复杂的运动形式。

在实际制作过程中，为了使凸轮驱动的零件不会从凸轮上脱落，并且，产生的运动能够平缓一些，需要采取一些特殊措施。当需要产生上下运动时，就需要设法限制摆杆的横向运动(参见图 3.9)。

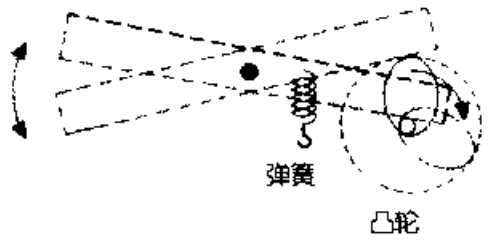


图 3.8 凸 轮

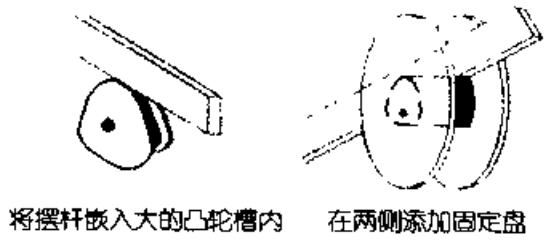


图 3.9 防止摆杆脱落的方法

3.1.6 齿 轮

一般的变速箱都是由若干个齿轮组合而成的，用于传递驱动机器人工作的动力。有的变速箱还能同时提供不同方同的旋转运动。当需要同时输出若干个转动，或需要输出较低速度的运动，以及利用车轮的旋转同时完成另一种作业时，可以充分地利用齿轮机构来完成。它能够可靠地进行动力的传递。

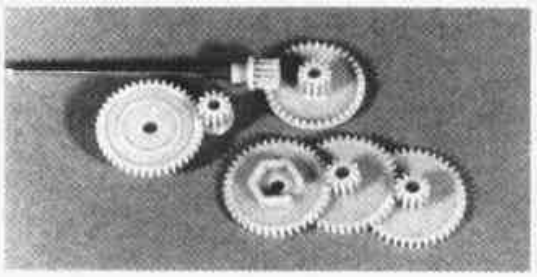


图 3.10 齿轮组合

3.1.7 链 条

当需要将动力可靠地传递较远距离时，可以采用链条机构。链条的种类很多，但必需到专卖店中购买。可以向老师或者对这方面比较熟悉的人去了解。当需要调节链条的长度时，需要使用专用工具。

由于结构上的原因，链条在横向上很难弯曲。因此，在使用时，如果连接链条的两个齿轮不能成一条直线，则传递出的力将会有很大损耗，并且，还容易使链条从齿轮上脱落。当链条长度过长时，链条可能会松弛。因此，在安装时需要增加能够调节链轮间距的装置，以保证安装的链条松紧适度。此外，由于链条一般不是为精密控制制作的，所以当需要精确实现同步传送时，用链条可能会产生偏差。

3.1.8 同步带

同步带的功能与链条相同。正如其名称描述的那样，它能够实现精确的向步传动。当需要左右两个零件动作一致，或者需要几个不同的动作能同步进行时，应该采用向步带机构。同步带机构必须采用配套的齿形带轮和同步带。

3.1.9 皮带轮

这是一种用橡胶皮带进行传动的零件。与向步带和链条机构不同，皮带轮结构，如果载荷过大，皮带会出现滑动，因此它不适合作精确的传动。相反，采用这种机构进行过载保护却不失为一种简单易行的方法。假设同样采用皮带轮和链条夹带物体，那么，采用链条方式，如果不小心，因为结构上的原因可能

会将物体挤碎，而采用皮带轮方式，却因夹物体的力适当，而不至于将物体挤碎。

此外，采用橡胶皮带结构还有一个优点，就是将皮带交叉后套在皮带轮上，可以很简单地实现方向相反的传动。

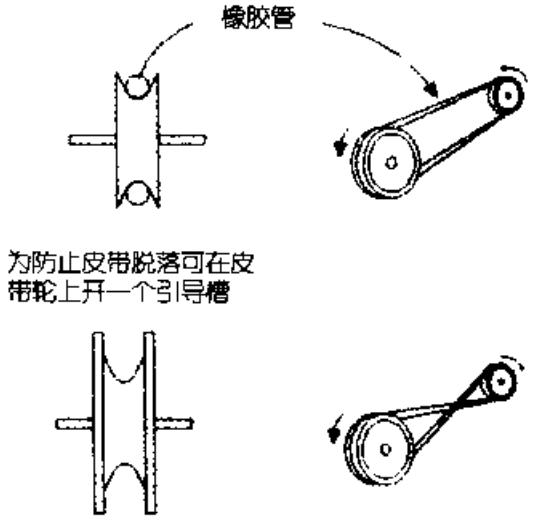


图 3.11 皮带轮

3.1.10 联轴件

联轴件也称为接头(joint)。当传动轴相互垂直时，可以使用锥齿轮或伞齿轮进行传动。但是，当需要稍微改变旋转轴方向，或者需要采用柔性轴传递动力时，就可以采用联轴件。

联轴件的种类有很多。如果转动方向需改变过大，转动的传递就可能不畅，或者传递的能量损耗过多。

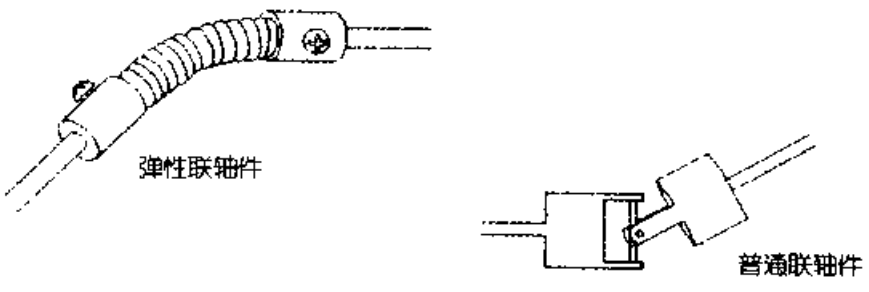


图 3.12 联轴件

3.1.11 履 带

这是一种在机器人大赛中很常见的零件。作为一种战车的行进工具，它对较差路况具有很强的适应性，并且，具有能够原地转弯的优点。如果赛场中设有障碍物，或场地路面凸凹不平时，可以采用履带作为行进工具。通过调节车轮的间隔，可以调整履带松紧适中，这是使用履带的要领。此外，在使用履带时，由于每侧都要安装多个车轮，因此，在调整时，要保证这些车轮能够呈一条直线。这样，履带就不会轻易地脱落。

另外，当需要搬运物品时，也可以用履带作为一种工具。可以将物体放在履带上进行提升搬运。还可以用履带将物体聚集在一起，或者像传送带那样将物品传送至装货的台面上。

3.1.12 车 轮

在选择车轮时，应该充分考虑赛场地板的状况，能否防滑并可靠地将动力传递出去是要首先考虑的问题。选择模型用的轮胎是最合适的。如果在轮胎上再缠绕一层海绵，就可以增大车轮与地板的摩擦力；采用直径比较大的轮胎，就能轻易地翻越障碍物。在制作过程中，可以根据场地的具体情况，采用多种应对方法。由于模型用的轮胎粘上灰尘后容易打滑，因此，如果场地路况较差，需要在轮胎的外面缠上一层海绵。

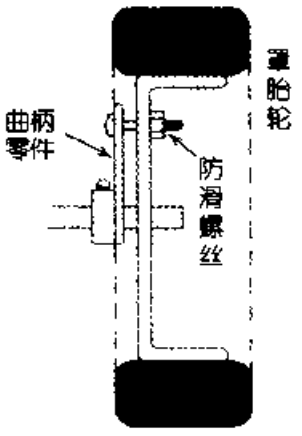


图 3.13 胎轮的固定方法

当遇到车轴发生空转时，就需要采取防滑措施。如果变速箱的输出轴为圆柱形，那么，当载荷很大时，车轴就会发生空转现象。遇到这种情况时，可以采用在 3.1.3 节介绍过的防滑措施，在车轮内侧安装一个曲柄，并用螺丝将曲柄与罩胎轮(tyre wheel)固定在一起，这样就可以解决车轴空转的问题，如图 3.13 所示。

3.2 机械零件

3.2.1 轴 承

在安装轴承时，安装位置的精确与否十分重要。如果发生一点点偏离，就可能造成机器人在前进时偏离方向。因此，在安装时一定要保证轴承的固定位置准确。

如果要制作的机器人比较小而且很轻，那么，只要在金属板上开出一个比轴稍微大些的孔，用它来固定车轴就可以了。如果要制作的机器人很重，就需要采用能够承受其重量并且滑动效果好的轴承。在轴承家族中，有一种滚珠轴承。为了减小阻力使轴承能够顺畅转动，它采用了在转轴上加入滚珠的结构。近来，模型店中也开始出售这种滚珠轴承，在制作机器人时也可以采用。此外，当载荷很大时，还可以使用一种稍大一些的合金轴承。它可以通过注入润滑油的方法减小轴承的摩擦阻力。中学生在制作机器人时，一般没有必要使用那些比较高级的轴承。

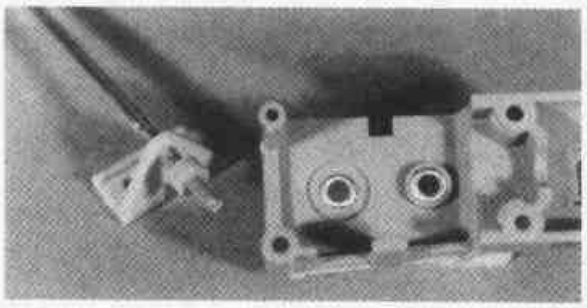


图 3.14 轴承零部件

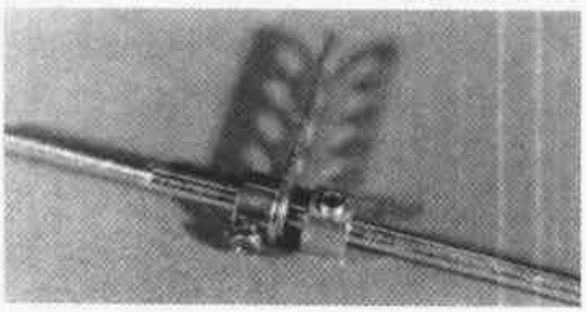


图 3.15 固定车轴的零件

3.2.2 润滑油

润滑油(黄油)是一种粘度较大的机油。它能起到润滑作用，具有防止因摩擦造成的动力损耗以及因摩擦造成零部件磨损的功能。

现在，人们还经常使用一种喷雾式润滑油。如果零件上注入了这种润滑油，那么，当这些零件转动时，润滑油受离心力的作用将被甩出，如果溅入到不允许松动的螺钉上，就会造成螺钉松动从而引发故障。因此，不要在需要注入

润滑油的部位全部采用喷雾式润滑油。并且要注意，不要让润滑油粘到那些不允许松动的固定螺钉和曲柄轴上。当然，还应该避免让轮胎粘上润滑油。

3.2.3 变速箱

变速箱是一种能够将电机输出的动力变换成大小适中的转矩，并且实现速度变换的机械装置。通常，它是由多个齿轮组合而成的。变速箱的种类很多，用途各不相同。当机器人制作完成后，常常会发现车速太快或者太慢，当遇到这种情况时，常常需要重新调整变速箱。因此，在制作前，应该预先估计好机器人的运行速度，并在组装前进行多次测试。此外，还有一种变速箱，可以更改输出的速度，使用起来非常方便。

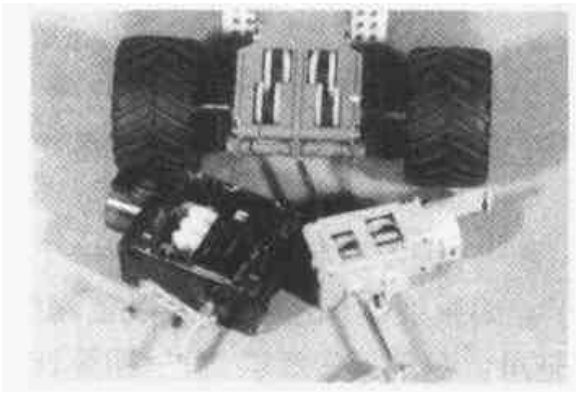


图 3.16 各种变速箱

3.2.4 万向轮

如果在桌子或台子腿下安装一个车轮，就可以轻松地移动这些物体。这种零件(车轮)称为万向轮。

在比赛中，机器人需要不停的改变方向，因此，能否快速地改变方向非常重要，这也是衡量机器人性能的一个要素。

在设计机器人的移动机构时，如果不采用履带，则可以采用车轮或轮胎。但是，当采用车轮或轮胎时，如果采用汽车式的 4 轮结构，并且是通过转动方向盘来改变前轮的方向，那么，与采用履带相比，机器人的转弯半径就会增大。当赛场上的障碍物很多时，采用这样的结构是非常不利的。为了实现既能采用轮胎同时也能减小转弯半径，可以将机器人设计成带有一个万向轮的三轮结构。这种结构可以减小转弯半径，而且结构比履带式简单。采用这种结构可以制作出能按预想方式运行的机器人。



图 3.17 万向轮

此外，根据比赛现场的具体情况，还可以采用更简单的两轮结构。采用一个滑动性能良好的引导板取代万向轮实现支撑。当然，只有当赛场的地板平坦光滑时，采用这种结构才是有效的。

3.2.5 合 叶

当需要板与板之间能够实现门那样的开闭动作时，可以使用合叶。在制作机器人过程中，当需要制作能够打开、关闭盖子的结构时，经常会采用这种零件。

如果将连杆装置中的摆杆换成板材，并用合叶连接，就可以构造出能够开闭的盖子，还可以制成翻斗车的货箱。

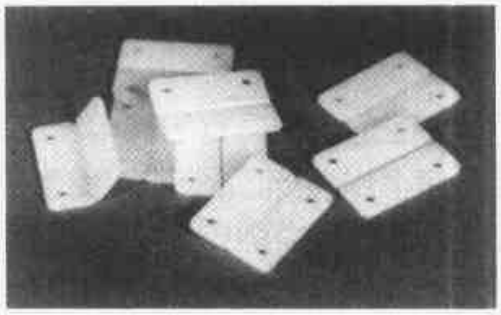


图 3.18 合 叶

3.2.6 轴

在轮胎中使用的车轴、摆杆中作支点的金属棒都称为轴。

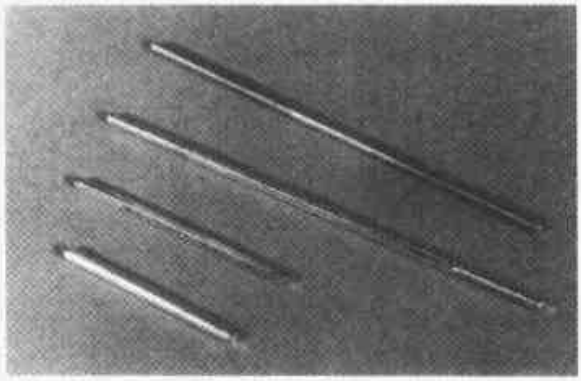


图 3.19 轴

轴的种类有很多，除了断面为圆形的轴之外，还有能防止变速箱或皮带轮空转的六棱轴。在链传动的链轮或车轮中，固定孔一般都是六角形的，与其相配的轴也是六棱形的。

此外，还有一种在两端都带有螺纹，可用螺母将车轮固定起来的轴。

3.3 电气零部件

前面已经叙述了有关电子电气和计算机的一些基本概念。由于电类的零部

件种类很多、用途也各不相同。因此，在实际使用时，必须根据具体的用途加以选择。在这里，将介绍用于制作电路的各种零部件的名称、用途以及使用方法。

3.3.1 电 阻

电阻是一种具有阻碍电流流动功能的电子元件。电阻无论对直流，还是对交流，其阻碍电流流动的功能都是相同的，常被用来调整电路中电流的大小，或者用来降低某点的电位。例如，当需要改变电机的转速时，如图 3.20 的左图所示，可以在电路中串入一个电阻。但是，仅仅采取这种措施，电机的转速是固定不变的。当需要能自由调节电机的转速时，就需要采用电阻值可以变化的可变电阻，如图 3.20 的右图所示。

当有电流流过图中的电阻时，电阻的末端电位就要比前端的电位低，这个电位之差称为电位差，其大小可以由下式计算得出：

电位差(V) = 电阻(Ω) × 电流(A)

其中，Ω 是一种表示电阻大小的单位，读为欧[姆]。

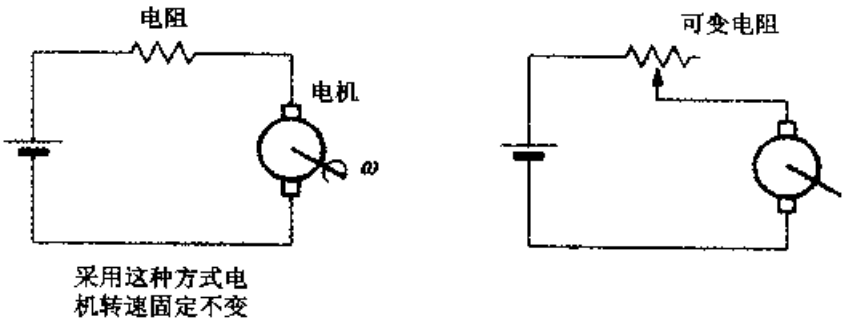


图 3.20 用电阻控制电机转速的方法

电阻的逻辑符号如图 3.21 所示。也有使用一个矩形框作为电阻的逻辑符号。

在使用电阻时，需要注意以下的三个条件：

额定功率 当电阻上流过电流时，就会在电阻的两端产生一个电位差，这时：

功率(W) = 电压(V) × 电流(A)

就表示在电阻上消耗的电能，这个能量将转化成为热量。因此，为了增强大功率电阻的散热性能，大功率电阻都是采用耐热材料制成的。由于每个电阻都有一个允许的最大功率(额定功率)，因此，在选用电阻时，要根据电阻上消耗的功率选择相应类型的电阻。

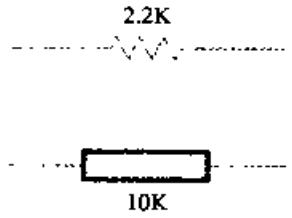


图 3.21 电阻的逻辑符号

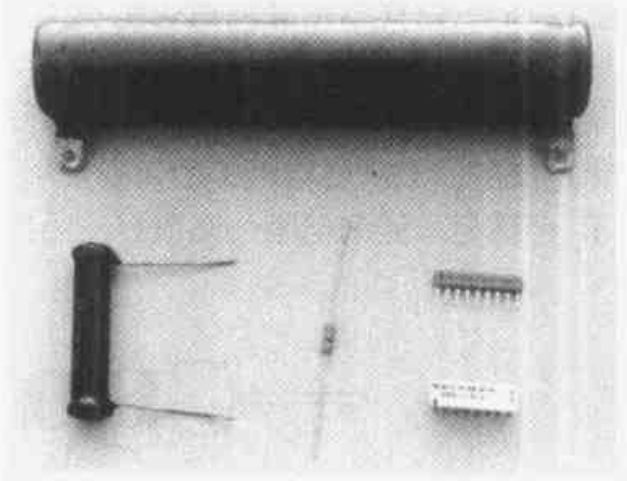


图 3.22 电 阻

精度 在电阻上，通常都会标示有电阻的阻值。但是，这个值未必与实际的电阻值完全相符。例如，标示的电阻值为 1kΩ，其实际阻值可能是 1.03kΩ，也可能是 0.97kΩ。因此，标示值是用标示值和实际电阻值与标示值之间的误差范围来共同表示实际的电阻值。后者称为精度、也称公称误差。一般来说，电阻中有如下的几种精度：

±0.5%、±1%、±2%、±5%、±10%

电阻的种类有很多。不同类型的电阻具有不同的特点，在选用时要根据实际需要选择。

电阻的种类

· 碳膜电阻：具有阻碍电流流动功能的物体称为电阻。碳膜电阻是一种采用碳薄膜制成的电阻。由于这种电阻的价格低廉，因此，它是一种最常用的电阻。但是，这种电阻的精度不高，通常在 5%～10%左右。除了高精度和大电流场合之外，几乎可以应用于各种场合。

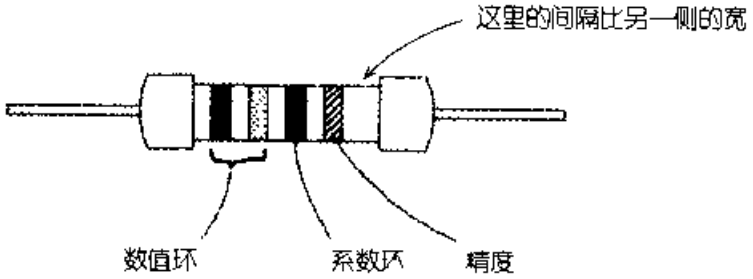
· 金属膜电阻：这是一种利用极薄的钽或镍-铬合金等金属薄膜作电阻体制成的电阻。这种电阻的特点是精度比较高、温度特性比较好，因此，常用于像滤波器之类要求精度比较高的电路中。

· 线绕电阻：这是一种在绝缘的核芯外面缠绕镍-铬合金等金属丝制成的电阻。通过调整缠绕金属丝的长度，可以精确调整电阻的阻值。因此，它可以制成精度高达 0.1%的极高精度电阻。由于这种电阻材料能耐高温，因此，通过增大电阻丝直径的方法，还可以制成大功率电阻。

· 色环：小功率的碳膜电阻和金属膜电阻都是采用颜色来表示电阻的阻值。可能有不少人会想，用数字表示阻值不是更简单吗。然而，如果在长度不到 2cm 的电阻上印刷数字，字体就会很小，而且由于电阻都是安装在比较狭小

的空间上,这样从正面就有可能看不到数字。为此,在电阻上采用不同颜色的环(色环)表示阻值,就可以保证从任何方向都能准确无误地读出电阻值。

色环是由数字环、系数环以及精度环构成的。一般电阻的色环是由四条色带组成的。高精度电阻的色环则采用五条色带。四条色带的含义如图 3.23 所示,色环是从距离电阻一端最近的色带开始读起。



颜色	代表的数值	4 条色环的系数	5 条色环的系数	精度
黑	0	× 1	× 10	± 20%
棕	1	× 10	× 0 1k	± 1%
红	2	× 0 1k	× k	± 2%
橙	3	× k	× 10k	
黄	4	× 10k	× 100k	
绿	5	× 0 1M	× 1M	
蓝	6	× M	× 10M	
紫	7			
灰	8			
白	9			
金	—	× 0.1	× 1	± 5%
银	—	× 0.01	× 0.1	± 10%

例如
如某电阻的色环为
红红红金,则代表
22 × 0 1k ± 5%
即 2.2kΩ

图 3.23 色环编码

3.3.2 可变电阻

在实际的电路中,有些时候希望能够随意地改变某一电阻的阻值。即便说是改变电阻的阻值,也不外乎有两种情况。以前面提到的图 3.20 为例,具体地考虑一下这两种情况。在图 3.20 所示的电路中,通过调节串联电阻,可以改变电机的转速。当采用这种电路控制铁路机车模型时,电机要不断地重复完成加速、减速、停止等操作,因此,人必须能够自由地改变电阻的阻值。另一方面,当

电机需要保持固定的速度时，就需要在电阻确定之后能够保持不变。这样的电阻也称为半固定电阻。

可变电阻同普通电阻一样，也有碳膜电阻、金属膜电阻、线绕电阻等多种类型。在电阻体的表面都会有一个称为滑块的电极，通过改变滑块的位置，就可以改变滑块与电阻某一端间的阻值。

在控制电机转速这样的大功率电力控制中，经常采用线绕形的大功率电阻。这种大功率线绕形电阻也称为变阻器。

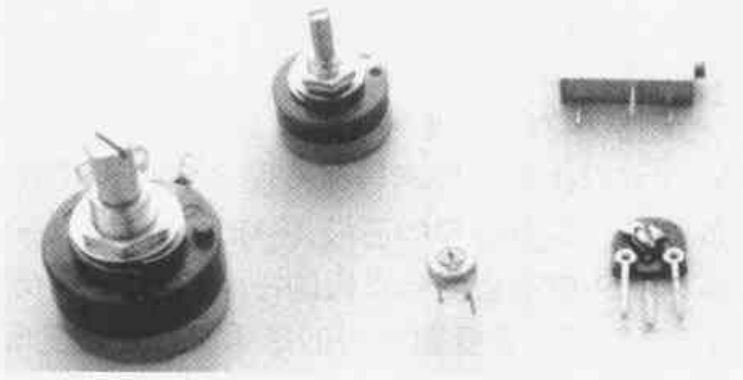


图 3.24 可变电阻

3.3.3 电 容

电容具有存储电荷的功能。此外，它还具有抑制电容两端电压急剧变化的功能。由于直流电流在电容中不能流动，因此，当电路中仅需要将交流信号提取出来时，就可以采用电容。

当电机转动时，电刷部分会产生尖细刺耳的噪音。遇到这种情况时，可以在电刷之间加入一个电容，这样就能减小这种噪音。此外，在微处理器或其他电子电路中，在电源与地之间肯定都会接有一个电容，这个电容称为旁路电容。

电容能储存的电荷容量用 F(法[拉])表示。通常，在电路中使用的电容，都是在几皮法($pF = 10^{-12}F$)到

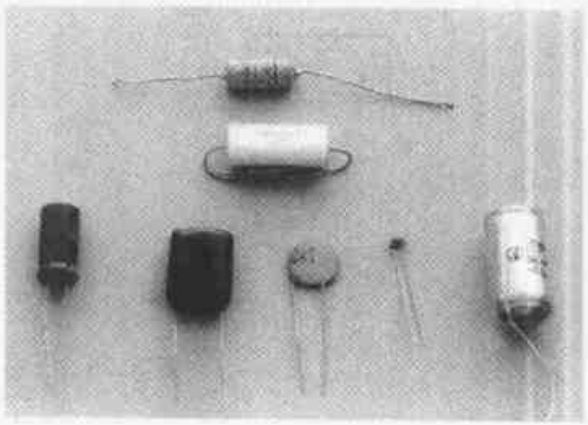


图 3.25 电 容

几十微法($\mu F = 10^{-4} F$)之间。另外,按种类的不同,每个电容都有一个固定的极限电压。当电容两端的电压超过这个电压时,电容就会被损坏,这个电压称为电容的耐压。在使用时,要注意不要让电容工作在这个电压之上。此外,大容量的电容,一般都是电解电容。在这种电容的两个引脚中,负极的引脚是固定的,在使用中不要搞错极性,否则会使电容发生爆裂。

3.3.4 二极管

将导电性能介于导体(如铜线)与绝缘体之间的物质称为半导体。二极管、三极管、IC(集成电路)等器件都是采用半导体材料制成的。在这些元器件中使用的半导体材料,按传输电流的多数载流子是具有正的极性还是具有负的极性被分成两种类型,分别被称为 p 型半导体和 n 型半导体。

二极管是由 p 型半导体和 n 型半导体按图 3.26 所示的方式连接制成的。如果将称为阳极的 p 区域连至电源的正极,将称为阴极的 n 区域连至电源的负极,那么,在 p 区域内的正电荷会受到正极的排斥、同时受到负极的吸引而流向 n 区域。n 区域的负电荷同样既受到负极的排斥又受正极的吸引而流向正极。这样,这就会在二极管中流过一个电流。相反,如果将 p 区域连至电源的负极、将 n 区域连至电源的正极,那么,电荷都会受到对应电极的吸引而不能流过电流。由此,就可以搞清楚为什么二极管具有单向导电性(只允许从一种方向流过电流)。根据制作二极管时采用半导体材料的不同,二极管分为锗二极管和硅二极管。二极管常用于将交流变成直流的整流器等电路中。

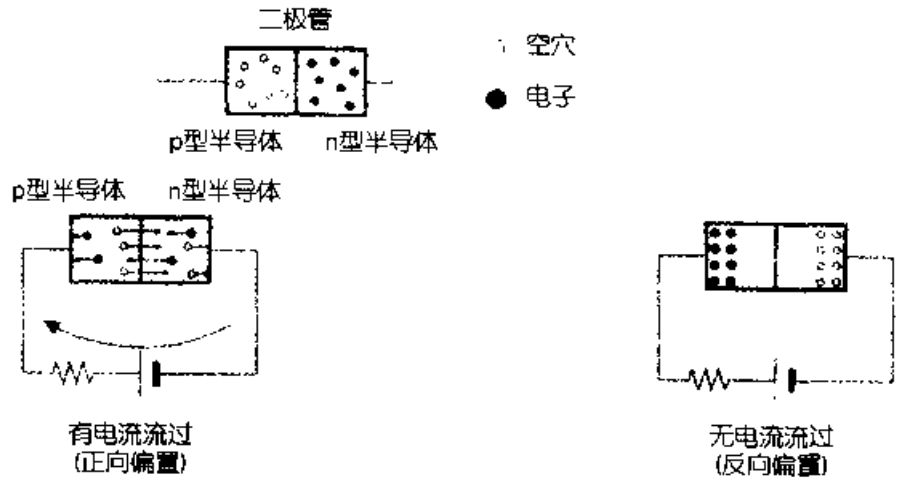


图 3.26 二极管的工作原理

3.3.5 LED(发光二极管)

LED 是一种当器件中流过正向电流时就会发光的二极管。它是由砷化镓和磷化镓这些化合物半导体制成的。

由于 LED 的体积小、耗电比灯泡少,因此,常被用来做电源是否打开以及传感器是否正在工作的指示灯。过去,LED 只有红、黄、绿三种颜色,近来,市场上已经开始出售能够发蓝、白光的产品。

LED 的另一个重要的用途就是作为光传感器的光源。这种传感器是由 LED 与感光器件组合而成的。可以用来检测反射光的大小变化,或者检测光源(LED)与感光器之间是否进入了物体。在这些应用中,通常都会采用能发红外线(光)的 LED 作为光源。红外线是人眼看不到的。采用这种 LED 作光源,是由于作为感光部件的光敏三极管和光敏二极管对于红外线有非常好的感知能力。在实际使用时要注意,当这种 LED 中流过电流时它就会发光,不要因为我们看不见它所发出的光,就误认为 LED 没有发光。

如图 3.28 所示,在具体使用时要在发光二极管上串联一个电阻,以保证流过 LED 的电流能限制在几十毫安以下。

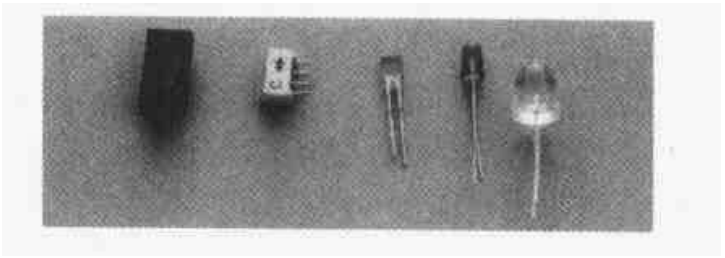


图 3.27 发光二极管

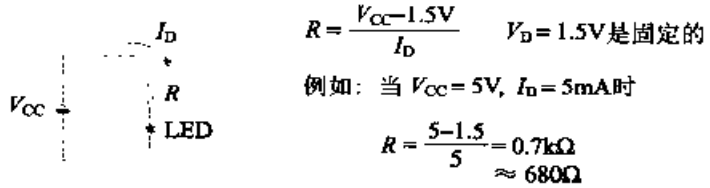


图 3.28 发光二极管应用电路

3.3.6 晶体管

晶体管是一种具有能将信号放大、并具有能控制电流导通或关断这种开关

功能的半导体器件。同二极管一样，它也是一种在电路中经常使用的半导体器件。在采用计算机的控制中，为了能利用计算机输出的微弱信号控制电机等电力设备，主要利用晶体管的开关功能。

在这里，首先了解一下晶体管的基本性质。晶体管的结构如图 3.29 所示。它是由 p 型、n 型半导体叠成三层结构制成的一种有三个引脚的半导体器件。这三个引脚分别称为基极(B)、发射极(E)、集电极(C)。根据这三层半导体的排列方式不同，晶体管分成 pnp 型和 npn 型两种。

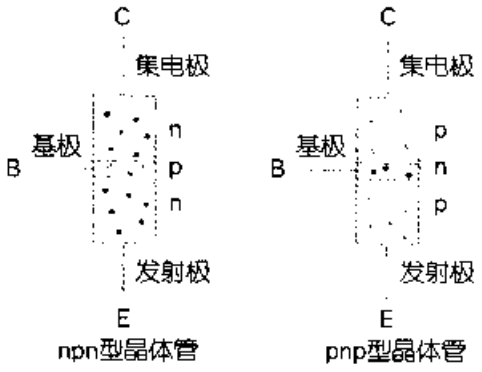


图 3.29 晶体管的结构

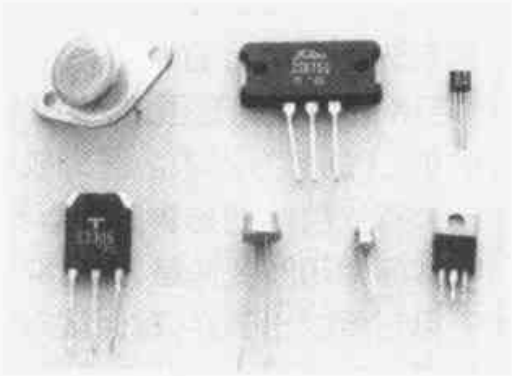


图 3.30 晶体管的封装形式

在晶体管中，流过集电极与发射极之间的电流，几乎与流入基极的电流成正比。流过集电极与发射极之间的电流是非常大的，一般为流过基极电流的 20～700 倍。利用晶体管的这种性质，就可以用比较小的电流和电压，控制大电流或大电压的变化，即可以实现放大的功能。基极电流I_B和集电极电流I_C之比 h_{fe}，称为电流增益。它是选用晶体管时的一个重要参数。

$$h_{fe} = I_C / I_B$$

假设基极电流只有为 0(没有电流流过)或者为 1(有电流流过)这两种情况，那么，当基极电流为 0 时，集电极-发射极之间的电流就会为 0；当流过基极的电流很大时，集电极-发射极之间就会流过一个饱和的大电流。这样，晶体管就会像开关一样起到对电流的通断控制效果。晶体管的这种特性称为晶体管的开关特性。在利用晶体管控制电机的起停或 LED 的亮灭时，就是利用了晶体管的这种开关特性。在图 3.31 中，给出了利用晶体管控制 LED 亮灭的应用电路。

在这个应用电路中，如果给发光二极管施加的正向电压不到 1.5V，则二极管不会发光。当正向电压超过 1.5V 后，随着正向电压的增加，流过二极管的电流就会急剧增加，如果不对正向电压加以限制，最终将导致二极管的烧毁。因此，在实际的电路中都会串入一个电阻(限流电阻)。假设流过 LED 的电流为 10mA、电源电压为 12V，就可以按下式计算限流电阻的取值：

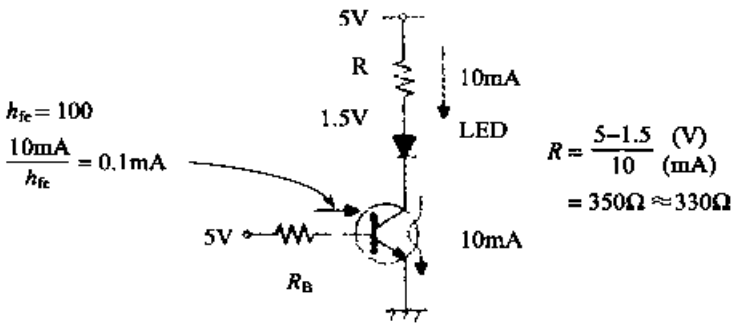


图 3.31 LED 亮灭控制电路

$R=(12-1.5)\div 10$

如果电源电压和流过 LED 的电流与上面的数值不符，可以将上式中的 12 和 10 替换成相应的数值。在图 3.31 所示电路中，连接在基极上的电阻R_B，可以通过下面的方法求出：当集电极电流为 10mA 时，将h_{fe}估计得小一些，设定为 100(假设 LED 为小电流型 LED，驱动晶体管为小功率的 2SC1815)，则流入基极的电流为 10mA ÷ 100 = 0.1 mA。如果这个电路的输入电压为 5V，则R_B就等于 5V ÷ 0.1 mA = 50kΩ。考虑到实际使用时应该留出的余量，允许流入的基极电流为假设电流的 2 倍，那么，电阻的取值应为计算值一半，取 22 kΩ。计算公式为：

$R_B=5V\div[(10\ mA\div 100)\times 2]\ (\Omega)$

输入电压 ÷ 流过 LED 的电流 ÷h_{fe}



晶体管的型号

晶体管都会有一个型号。这种型号是遵循某种规定命名的。晶体管中的型号有四种类型：

2SA××：pnp 型高频晶体管(当然在低频也能使用)

2SB××：pnp 型低频晶体管(大功率的比较多)

2SC××：npn 型高频晶体管

2SD××：npn 型低频晶体管

其中，××部分是 2～4 位数字，是该产品在日本电子机械协会的注册登记号。

低频是指像音频那样频率在几十千赫以下的频率，高频是指频率在此之上的电波频率。

3.3.7 数字 IC

数字 IC(数字集成电路),正如其名称所表现的那样,是一种处理数字信号的集成电路。这种信号仅有"0"和"1"两种取值。根据集成电路中采用的晶体管数目的多少,数字 IC 被分为小规模集成电路(SSI)、中规模集成电路(MSI)和大规模集成电路(LSI)。小规模集成电路内的晶体管数目在 100 以内,中规模集成电路内的晶体管数目在 100－1000 个之间,大规模集成电路内的晶体管数目在 1000 个以上。微处理器和存储器都属于大规模集成电路。当需要制作简单的逻辑电路时,可以采用 SSI 和 MSI。在这些IC中,一个芯片内都含有若干个AND(与门)、OR(或门)等逻辑单元电路

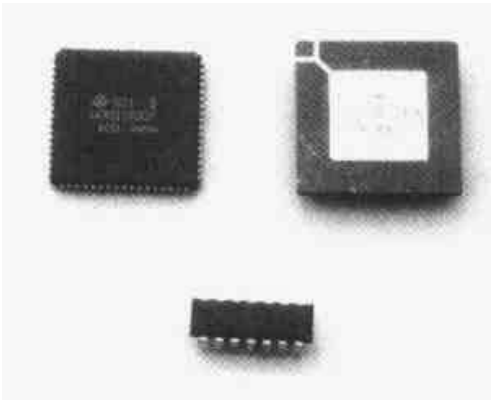


图 3.32 集成电路(IC)

IC 的型号

TTL 电路、CMOS 电路与晶体管一样,产品的命名方法也是有规定的。例如,在 TTL 电路中,有一种型号为 SN74LS00 的产品。最开始的两个字母是表示生产厂家的标识,SN 代表得克萨斯仪器仪表公司。接下来的代码表示该产品所采用的生产工艺。74 表示该产品是采用 TTL 工艺生产的,或者虽然采用 CMOS 工艺、但芯片的引脚排列及逻辑电平都与 TTL 兼容。接下来的 LS 表示 TTL 电路的工艺型号。LS 表示该产品是采用低功耗短沟道工艺生产的。如果这两位字母为 HC,就表示是采用上面所说的与 TTL 兼容的 CMOS 工艺。最后的 2～3 位数字是标示该 IC 的功能。00 表示 2 输入 NAND(与非门)。在 CMOS 产品中,除了上面提到的 HC 之外,还有 4000 以及 4500 两大系列。命名方法同 TTL 一样,也是由公司名、系列名(在这里是 40 和 45)、功能名组成的。40 与 45 系列的产品,由于电源范围比较宽(为 3～18V),因此,主要用于用电池供电的电路中。例如

MC4011

MC 表示摩托罗拉公司,40 表示产品系列类型,11 表示该产品为 2 输入 NAND。

或者触发器。

按照生产工艺的不同，数字 IC 又分为多种类型。经常使用的数字 IC 有 TTL 和 CMOS 两种类型，其中使用最多的是 TTL 电路。在采用电池供电的电路中，为了减小电路的功耗，经常采用电源范围很宽的 CMOS 电路。4011 和 4013 就是两种 CMOS 型 IC，在这两种 IC 芯片中，分别集成了多个 NAND(与非门)和 D 型触发器。这两种 IC 芯片都是采用 DIP(Dual In line Package)封装的 14 脚芯片。DIP 封装是一种将电路的引脚由芯片两侧引出的封装形式。在 IC 的封装形式中，除了 DIP 封装之外，还有扁平封装和 LCC 封装。在自己制作电路时，经常采用 DIP 封装的芯片。

3.3.8 模拟 IC

模拟 IC 也有很多的种类，这些模拟 IC 都具有各自不同的用途。但是，它不像数字 IC 或晶体管那样有统一的型号。一般来说，在机器人中采用的模拟 IC，大致有称为运算放大器的放大器、稳压电源以及驱动电机的专用 IC 这三种类型。

3.3.9 运算放大器

运算放大器是一种放大器，正如它名称所描述的那样，它是用模拟信号实现加法、减法、倒相、微分、积分等运算的一种放大电路。在现代微处理器没有出现之前，数值运算就是采用这种运算放大器完成的。

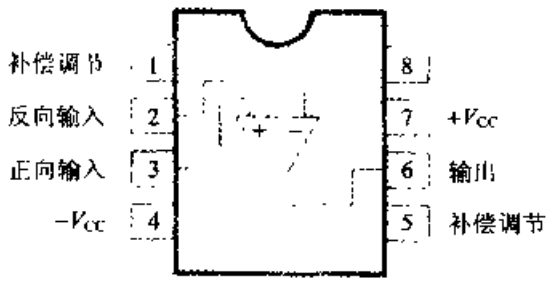


图 3.33 运算放大器 TL 081

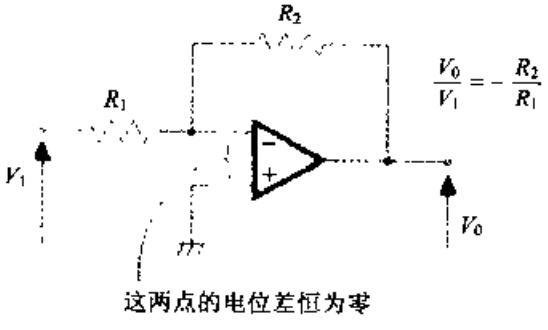


图 3.34 反相放大电路

如图 3.33 所示，运算放大器具有正向、反向两个输入端。根据加在这两个输入端的电位不同，输出电位的极性会有所不同。例如，当正向输入端的电位

比反向输入端的电位大时，随着两个输入端电位差的变化，输出电位在正向变化；当反向输入端的电位比正向输入端的电位大时，随着两个输入端电位差的变化，输出电位在负向变化。当两个输入端的电位完全相等时，即使改变两个输入端的电位，输出电位也不发生变化。这种输入方式称为差分输入。

图 3.34 示出了一个采用运算放大器构成的放大电路。随着输入电压的增加，反向输入端的电位也将随之增加。于是，输出端的电位在负向上增加。由于这个输出电压又通过电阻R_2与反向输入端相连，因此，输出电压又会反过来使反向输入端的电位减小。最后，当反向输入端电位与正向输入端电位相等时，输出电位将保持不变。输出电位与输入电位差之比称为放大器的增益，也称为放大倍数。对于上述情况，放大器的增益为：

$$A = -(R_1 \div R_2)$$

这个公式表明，如果输入为正，输出就为负；如果输入为负，输出就为正。因此，这种电路也称为反相放大器，是一种最基本的运算放大器应用电路。

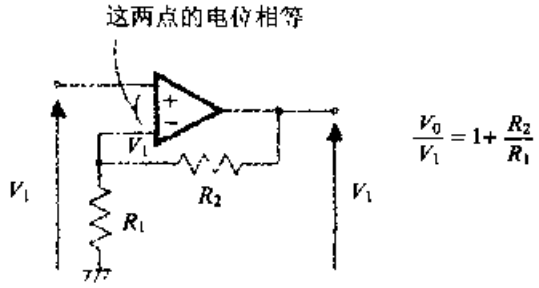


图 3.35 同相放大电路

向相放大器(输出不倒相)的应用电路，如图 3.35 所示。

它向反相放大器一样，输出也是通过电阻R_2反馈到输入端。这个电路也是一样，输出电压为保证正向输入端与反向输入端的电位能够一直保持相等而发生变化，同相放大器的增益可以由下式得出：

$$A = 1 + (R_1 \div R_2)$$

在图 3.36 给出了一个实际的放大器连线图。这个放大器需要两个电源，在每个电源上都接有一个 0.1μF 的陶瓷电容。这个电容称为旁路电容，是用来防止电路发生振荡的。

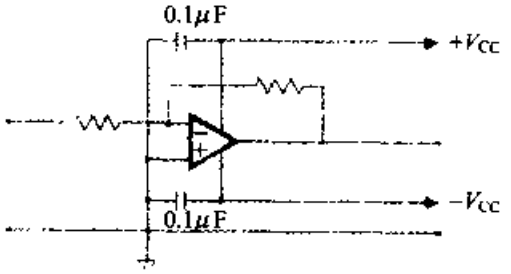


图 3.36 实际放大器的连线图

3.3.10 变压器

在很多情况下，我们都希望能直接用 100V 的交流电[1]给机器人供电。对应这种要求，当然可以直接采用市场上出售的现成电源。不过这种电源的价格

1) 日本的市电为交流 100V。——译注

比较高，对于中学生和高中生来说比较难以承受，因此，最好还是自己制作。因为机器人中采用的电机大多数都是在 3～12V 电压下工作的，因此，自制电源时必须先将市电的 100V 电压降下来。能够完成这种功能的部件就是变压器。变压器除了可以作电源之外，在以前由晶体管或电子管组成的电路中还可以作阻抗变换器使用，但现在已经很少采用这种电路了。

在图 3.27 中，给出了几种变压器的实物图。变压器是在铁芯上缠绕铜线构成的，缠绕的线圈通常都在两组以上。变压器的逻辑符号如图 3.28 所示。中间的竖线代表铁芯，两边的符号代表线圈。变压器的输出电压与线圈的匝数及输入电压成正比。例如，如果输入线圈的匝数为 300 圈，输出线圈的匝数为 36 圈，那么，当给这个变压器加入一个 100V 的输入电压时，根据公式

$$300 : 36 = 100 : x$$

可以得出它的输出电压为 12V。此外，变压器能够输出的电流是固定的，其大小由变压器的功率决定，功率越大能够输出的电流就越大。在使用时，要保证变压器的平均输出电流不要超过这个值。

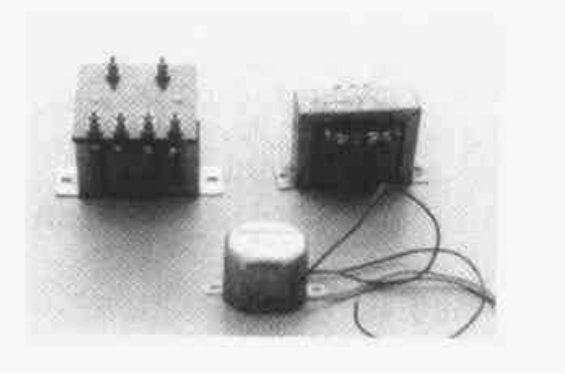


图 3.37 变压器



图 3.38 变压器的逻辑符号

最后，还有一点需要注意，就是绝对不要将变压器的线圈接到规定电压之外的电压上。有人会想既然变压器的输出电压与线圈的匝数成正比，那么，当需要获得 800V 的电压时，是不是可以反向运用变压器，将原本 12V 的输出端连接到 100V 上。答案是否定的。这样做的结果将使变压器中流过一个很大的电流，因此，变压器就会在瞬间燃烧起来。

3.3.11 整流电路

变压器能够将市电电压降低。然而，将这个降压后的电压，直接作为机器人的电源还是有问题的。因为经过变压器降压后输出的电压，如图 3.39 所示，是一种正负交变的交流电压。机器人中的电机和电子线路都需要使用方向不

变的直流电压。因此，还需要将这种交流电压转换成直流电压后，才能提供给机器人。能够完成这种交流变直流的电路，就是整流电路。

整流电路是利用二极管的单向导电性，实现交-直流变换的。在图 3.39 中，给出了一个最简单的整流电路示意图。从变压器输出的交流电压，经过二极管处理后，就转换成只有正向输出的电压(图 3.40)。但是，波形仍为周期性的导通与截止。再将这个整流后的电压经过电容进行滤波处理，就可以得到相对平滑些的直流电压。完成这种功能的电路称为滤波电路。

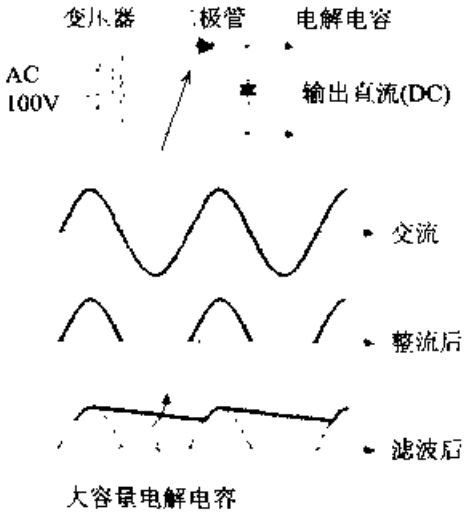


图 3.39 半波整流电路及波形

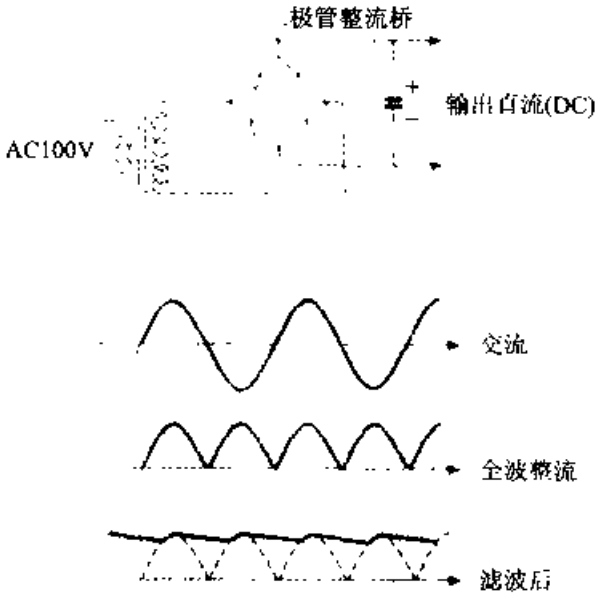


图 3.40 全波整流电路及波形

如果希望滤波后的波形能更加平滑些，可以采用全波整流电路。在全波整流的电路中，采用了一个由四个二极管组成的特殊结构，这种结构称为整流桥。经过整流桥处理后的波形就不存在间断，这种波形再经过滤波处理就会变得更加平滑。由于市场上出售有能输出 5A 电流的整流桥，因此，在制作整流电路时可以直接采用。用于滤波的电容一般都比较大，机器人中的平均耗电电流一般在 2～3A 左右，因此滤波电容应该取 1000～4700μF 之间。

3.3.12 稳压电源

在制作机器人的电路时，可以直接将整流电路的输出连接到电机上，作为电机的供电电源。但是，微机之类的电子线路却不允许这么做。这是为什么呢，原来微机和电子线路的工作电压有一定的限制，电源电压必须处于这个范围之内。根据IC种类的不同，有些IC允许使用的电源电压范围极小，例如，

TTL 允许使用的电压范围为 5V±0.25V。对于这种情况，就必须使电源电压保持稳定。能够使电源电压保持在一定范围内的电子电路，称为稳压电源。稳压电源具有既使输出电流发生变化，输出电压也能基本保持不变的特点。

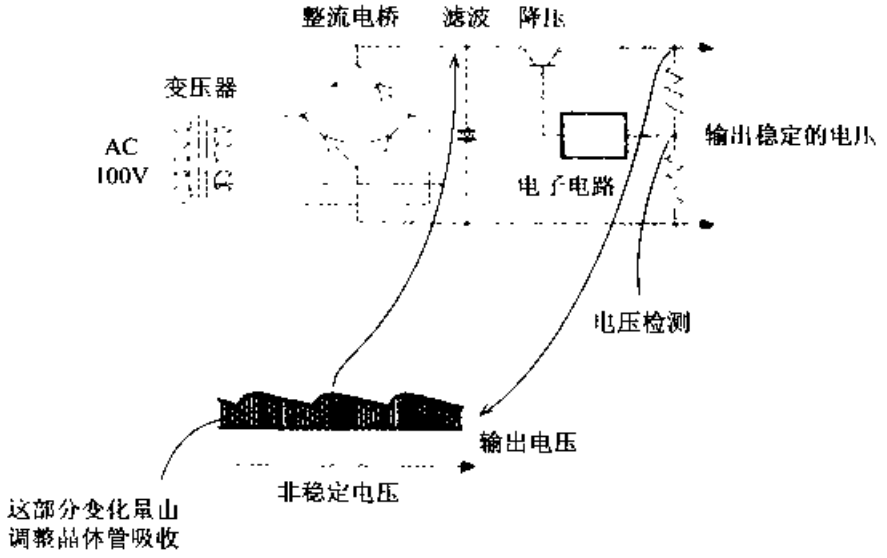


图 3.41 降压型稳压电源的工作原理

在稳压电源中，有开关型稳压电源和降压型稳压电源。虽然开关型稳压电源的转换效率比较高，但是由于电路结构复杂，设计与制作都比较困难，因此，当需要自制稳压电源时，最好采用降压型的稳压电源。降压型稳压电源是在非稳压的电源与稳压输出端之间加入一个晶体管(也称调整管)，用这个晶体管吸收非稳压端的电压变化量，从而使输出电压能够保持不变。因此，非稳压的输入电压必须比稳压后的输出电压高出几伏(参见图 3.41)。

在制作降压型稳压电源时，直接采用有三个引脚的稳压 IC 芯片是最方便的。如图 3.42 所示，这种 IC 芯片具有 3 个引脚，其中的一个引脚用于连接非稳压电源，另一个引脚用于接地，剩下的一个引脚作为稳压器的输出。这种 IC 芯片的输出电压一般都是固定的，从 5V 到 24V 有多种类型，使用起来很方便。在使用这种 IC 时，一定要在输入端和输出端各接入一个 0.1μF 的电容，它能起到使电路稳定工作的作用。

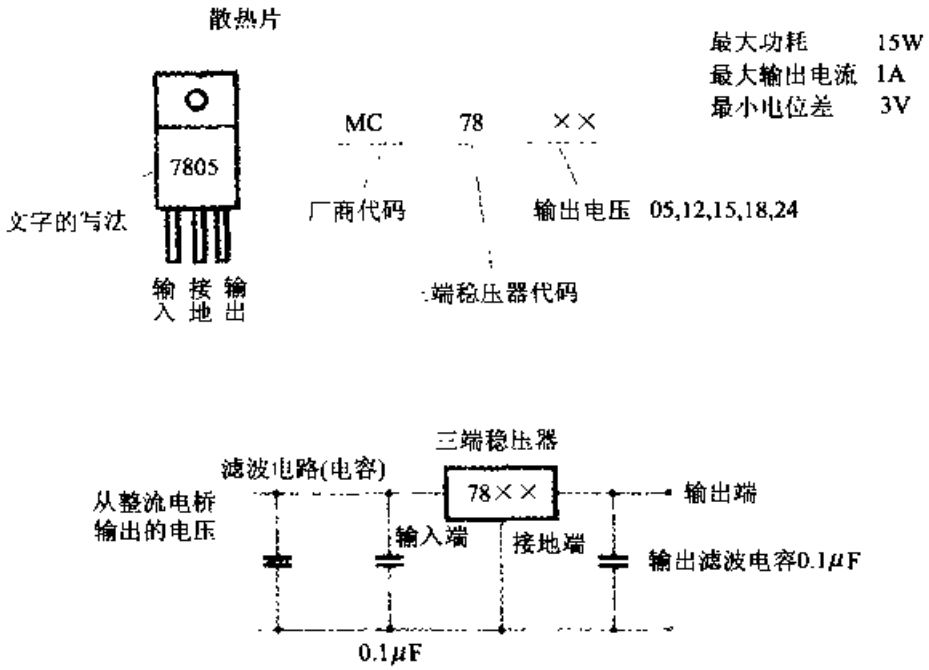


图 3.42 三端集成稳压器

3.3.13 锰电池

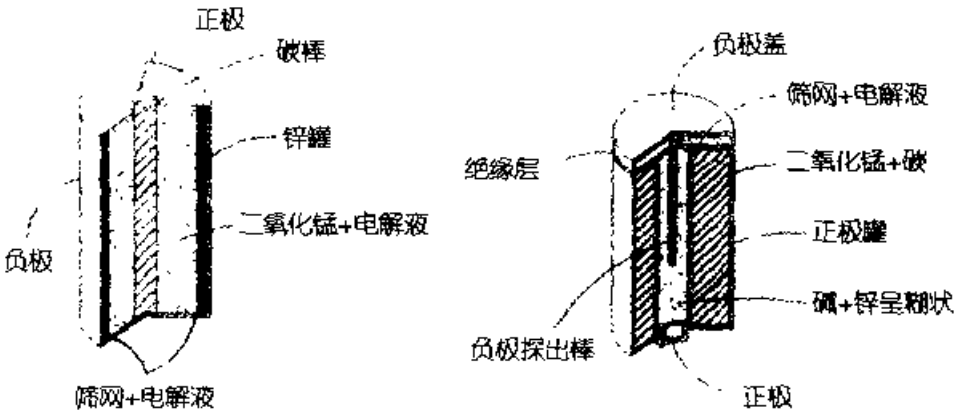
锰电池是一种是用完之后就不能再使用的电池，也被称为一次性电池。在锰电池中，有单纯的锰电池和碱性锰电池两种类型，这两种电池在结构上有很大的差异。

单纯的锰电池结构如图 3.43 中的左图所示。它是利用锌罐作为电池的负电极，在锌罐中装有二氧化锰和电解液，中间插入了一根用于收集正电荷的碳棒。因此，外面的锌罐是电池的负极，中心的碳棒是电池的正极。

碱性锰电池与锰电池正相反，外包装罐是电池的正极。在罐中装有由二氧化锰和碳元素构成的混合物，在混合物的内侧装有一个筛网，内部盛有电解液。最后，将由锌和碱性溶液混合成的糊状物作负极材料插入筛网中，然后封上盖子。因此，碱性锰电池的外壳是电池的正极，底板与中心相连是电池的负极。从外观上看，它与锰电池完全相同，但它的中心是电池的负极并与底板相连。

当电池中流出电流后，电池的电压就要下降。如果电压的下降速度比较快，负载就不能从电池中获取较大的电流。碱性锰电池的电压下降速度要比锰电池小得多，因而能够给电机提供比较大的电流，采用这种电池的电机通常都能输出较大的转矩。此外，从图 3.43 中还可以看出，在输出大电流的条件下，碱性锰电池的电压下降速度要比锰电池小得多，因此，在这种条件下，采用碱性锰电池就能使用更长的时间。综上所述，碱性锰电池更适合作电机的电源。然

而，当需要长时间地输出小电流时，这两种电池就基本没有多大的差别。



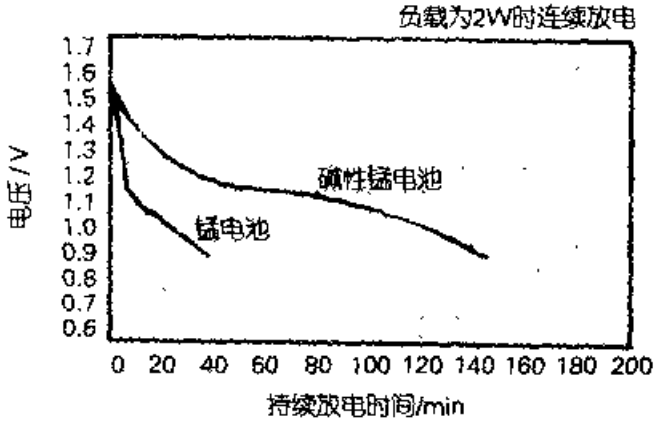


图 3.43 锰电池、碱性电池的放电特性曲线

3.3.14 镍-镉电池

镍-镉电池是一种可以反复充电使用的充电电池。同碱性锰电池一样，镍-镉电池也具有内阻小、输出电流大的特点。但是，每节镍-镉电池的电压要比其他种类的电池稍微小一些，通常为 1.2V。

镍-镉电池是将浸入电解液的筒网膜、作为正极的碱性氢氧化锰以及作为负极的镉薄膜，像三明治一样叠在一起卷成筒制成的。在图 3.44 中，给出了镍-镉电池的放电特性。

充电电池的容量都是采用 A · h(安[培][小]时)来表示的。它是采用电流与时间的乘积，即采用电池输出的电流与在这一电流下的放电时间之积来表示电池的容量。通过这个数值就可以知道电池在按某一电流进行放电时，能够持

续放电多长时间。例如，对于 700mA · h 的电池，如果按 70mA 的电流进行放电，可以持续放电 10 个小时，如果按 700mA 的电流进行放电，就只能持续放电 1 小时。充电电流的求法也是一样，用电池的容量除以充电时间就可以计算得出。

镍-镉电池可以充电 500 次左右，在不断重复进行充放电的过程中，电池往往会发生容量达不到标称值的现象。产生这种现象的原因，是由于充电之前，没有将电池中剩余电能全部泄放掉的缘故。这种现象称为电荷存储效应。为了防止发生电荷存储效应，在充电之前应该将电池中的电能全部泄放掉。

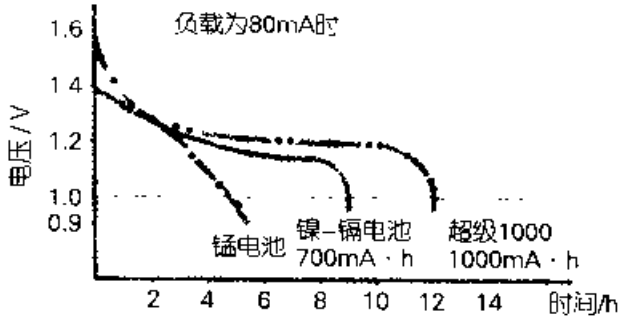


图 3.44 镍-镉电池的放电特性

类型	型 号	标称电压 /V	标称容量 (5小时)	体 积 /mm	重量 /g	标准充电电流 /mA
单1形	N-1C(LN)	1.2	2200	φ33×6'	95	220
单2形	N-2U(LN)	1.2	1400	φ25×50	58	140
单3形	N-3US	1.2	1000	φ14.2×50.5	23	100
单3形	N-3U(LN)	1.2	700	φ14.2×50	23	70
单4形	N-4U(LN)	1.2	250	φ10.5×44	10	25
叠层形	N-6PT(LN)	7.2	110	26.5×17.5×48.8	40	11
细条形	KF-A600(LN)	1.2	650	67.0×16.8×6.0	23	65

图 3.45 镍-镉电池的种类(摘自：三洋電気のカドニカ電池カタログ)

3.3.15 电 线

在制作电路的过程中，肯定会用到电线。电线的种类非常多，适用的范围也各不相同。在制作机器人的过程中，经常会用到如下的几种电线：

裸线(外面没有包裹绝缘层)：镀锡线。

模拟量与数字量

在手表等仪表或设备中，一般都分为模拟型和数字型等多种机型。带指针的手表被称为模拟型手表，用数字显示时间的手表称为数字型手表。

由此可以推断，需要用连续值表示的量称为模拟量。关于模拟量，可以参考下面的例子。假设，采用最小刻度为 1mm 的尺子测量某段直线的长度。在测量时，当线段的终点处于尺子的两个刻度之间时，就需要根据终点与两个刻度间的距离进行推断，例如，将测量的长度断定为 1.3mm 等等。在这种情况下，线段的终点距离尺子邻近刻度的距离并不明确，不能用尺子的最小刻度去度量。模拟信号就是像这样不能用一个最小单位进行度量的，是一种可以连续变化的量。

数字信号与用数字显示时间的数字型手表相似，它是以一个基本量为单位，对被测量进行了量化(数值化)。例如，当时间经过不到 1 秒时，数字型手表上的时间将保持原来的数值不变。也就是说，数字量是以某个值为最小单位，只能跳跃性地变化。在数字型手表的例子中，这个最小单位(也称量化单位)就是 1 秒。

今天，我们已经进入了数字时代，信息处理一般都是采用数字方式。数字信号是将各种信息作为一种数值进行记录和传输的。在传送和处理的过程中，数字信号不会产生信号歧变，这是以往采用模拟方式所不可比拟的。但是，由于自然界中的很多量都是模拟量，因此，为了能对这些信号采取数字化处理，就需要将模拟信号转换成数字信号，即需要有一种能将模拟信号进行数值化的装置。同样，也需要有一种能将已经数字化的信号转换成模拟信号的装置。一般来说，能够完成这些转换的装置都比较复杂，它们就是 A/D 及 D/A 转换器。

此外，数字信号中使用的数字都是每位仅有 0、1 两种数字组成的二进制数，我们将仅能处理二进制信号的 IC 称为数字 IC。数字型钟表等仪器设备在向人们显示结果时，是采用十进制数；而在其内部是采用二进制数进行计时或处理数据的。因此，在将二进制数的结果显示出来时，还需要进行不同数制的数据转换。这种转换可以采用软件完成，也可以采用数字 IC 来完成。

电台、电视、老式电话以及录像机等设备，它们处理的信号都是模拟信号，采用的处理方式也称模拟方式。模拟信号在存储或传送的过程中会产生歧变，因此，当多次翻录录像磁带时，画面的质量将会变差。而 CD、DVD、PHS 以及现在流行的移动电话都是采用数字处理方式。采用这种方式有很多优点，首先是信号的处理比较方便，其次，是数字信号在传输或复制时，不会产生信号的歧变。

绝缘线(外面包裹有绝缘层):绞线、单股线、电缆[将多根电线缠绕在一起(包括扁平电缆)]。

裸线是指在铜线外面镀有锡层的电线,也称镀锡线。主要用在印制线路板上,做电源和地线的配线。除此之外,在调试电路时,对于需要经常测试电压或波形的测试点,可以通过焊接镀锡线将这些测试点引出,这样就会给测试带来方便。经常使用的镀锡线,直径在 0.5~0.7mm 之间。

在单股线中,既有外面包裹绝缘塑料的普通电线,也有绕线柱用的配线。由于绕线柱用的配线,外面包裹的绝缘层很薄,线丝很细,作为配线便于整理。但是,在剥离它的包裹层(绝缘层)时,一定要使用称为电线剥皮钳的专用工具。单股线多用于作为印制线路板配线这种固定不动或者不悬空的地方。由于单股线比较硬,作为配线在走线时可以自由确定其形状。

绞线主要用在需要经常活动的地方,或者在印制线路板之外作为配线使用。这是由于绞线比较柔软,即使受到弯折也不容易折断的缘故。相反,在活动部分一定不要使用单股线。因为随着活动部分的运动,单股线很容易从根部折断。

3.3.16 继电器

继电器也是一种常用的电子器件。如图 3.46 所示,当线圈中流过一个电流时,线圈内的铁芯就会被磁化,就会将铁片吸引过来。于是,连接在这个铁片上的接点就会移动,从而实现接点的连通或断开。继电器是一种能够用小功率电路来控制大功率电路开闭的器件。此外,由于线圈与接点完全分离,当需要防止噪音影响时,也可以采用继电器。

通常一个线圈可以控制的动作接点不止一个,一般都在两个以上,因此,用一个继电器可以控制多个设备的开闭。

关于继电器的接点,还有一个很重要的问题。如图 3.46 所示,继电器中有两个接点。一个接点是当线圈中没有电流流过时,处于断开状态,当线圈中流过电流时就为闭合状态。另一个接点平常则是处于闭合状态,当线圈中流过电流时接点就处于断开状态。前者称为 a 接点,后者称为 b 接点。

在 JIS 标准(日本工业标准)中规定,继电器的逻辑符号如图 3.46 所示。当需要横向绘制时,如果接点的横线在上方就表示 a 接点,如果接点的横线在下方就表示 b 接点。当需要纵向绘制时,当接点的横线在右方就表示 a 接点,当接点的横线在左方就表示 b 接点。

如果采用横线与圆圈相接表示 b 接点、横线与圆圈分离表示 a 接点。这种画法看起来很容易,但在实际的绘制过程中稍不注意,就很难判断横线与接点

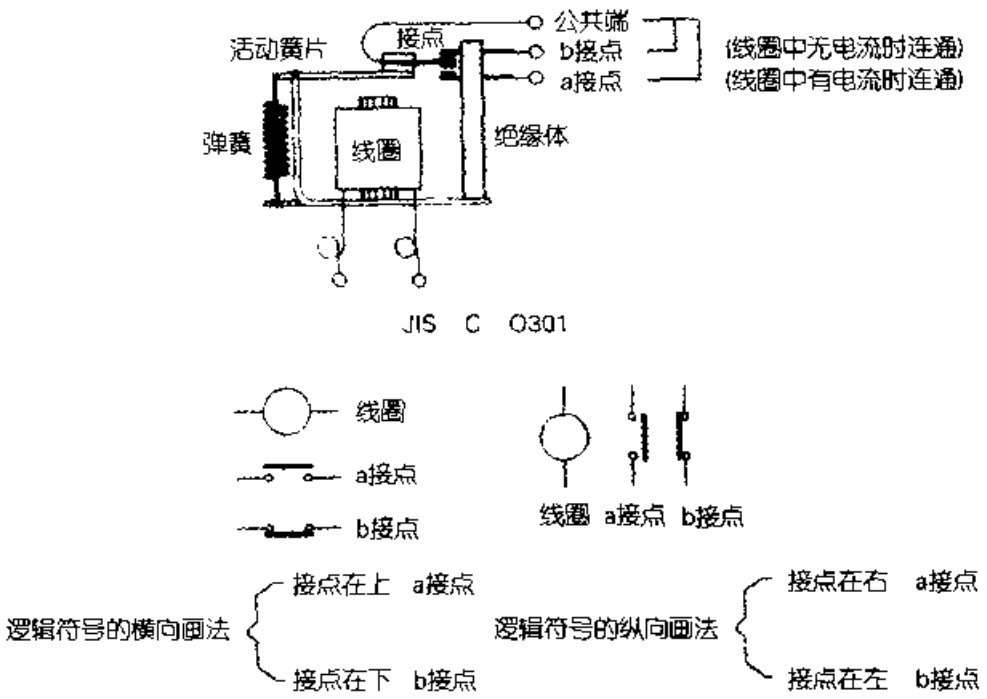


图 3.46 继电器原理图及逻辑符号

是否相接。因此,为了避免发生这种情况,在绘制继电器的逻辑符号时,应该采用上下和左右的方式进行明确地区分。

图 3.47 列出了制作机器人时使用的欧姆龙公司的继电器外形及其参数。

额定 线圈

额定电压/V		额定电流/mA	线圈阻抗/Ω
DC	5	100	50
	12	41.7	288
	24	20.8	1.152

开闭部(接点)

类型 / 参数 \ 负载	基本型	高灵敏型
	电阻性负载	
接点结构	横向、双接点	
接点材质	镀金+银	
额定负载	AC 125V 0.5A DC 30V 2A	AC 125V 0.5A DC 24V 1A
额定负载电流	2A	
最大接点电压	AC 125V,DC 125V	
最大接点电流	2A	1A

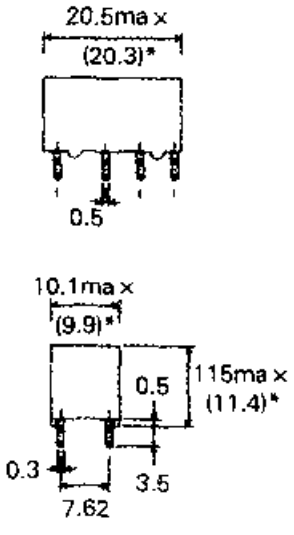


图 3.47 欧姆龙继电器的规格参数(摘自欧姆龙公司 G5V-2 产品目录)

3.3.17 自保持电路

在制作机器人的过程中，经常需要采用自保持电路，参看图 3.48，看一下利用这种电路实现开关门的结构。在这里，门的开闭是通过电机转动曲柄驱动关节来完成的。当按下按键开关时，门就开始打开，至门完全打开时，电机将自动停止运行。因此，它的工作过程应该是，按下开关时，电机就开始运行；当检测门已全开的开关被按下后，电机就停止转动。能够完成这种功能的电路称为自保持电路，可以采用一个继电器来实现。

在采用这种继电器的电路中，继电器的接点、开始开关、门全开检测开关 LSO 的 b 接点，以及继电器线圈的配线如图 3.49 所示。门在关闭状态时，由于开关 LSO 没有被按下，因此处于闭合状态。此时，如果按下开始开关，线圈中就会流过一个电流。于是，与开始开关并联的配线接点 X 就会闭合。这样，即使以后松开了开始开关，也会继续有一个电流，按图中箭头方向流过，这样电机就会继续转动。当门完全打开时，开关 LSO 会被按下。LSO 被按下后，LSO 开关就会断开，流过线圈中的电流就会被切断，接点 X 也就随之断开，电机就停止工作。如果将门的开闭部分改为如图 3.50 所示的结构，那么，每当变速箱的转轴转半圈，就可以重复实现门的开闭。这时，可以采用如图 3.51 所示的电路，在原来的电路中再串联一个检测门关闭开关。

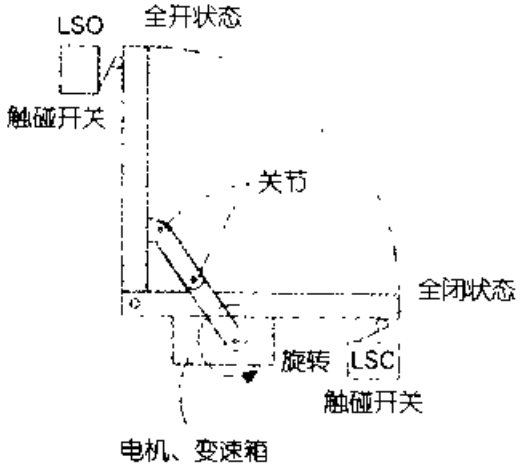


图 3.48 门的控制机构

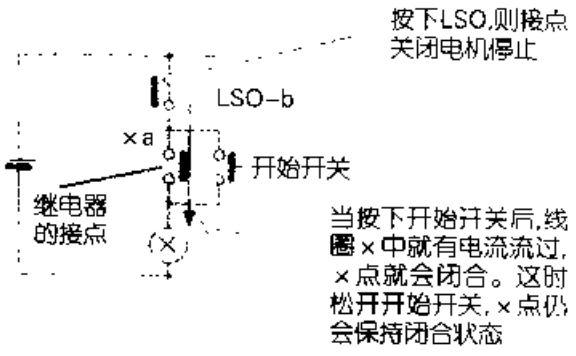


图 3.49 控制电路

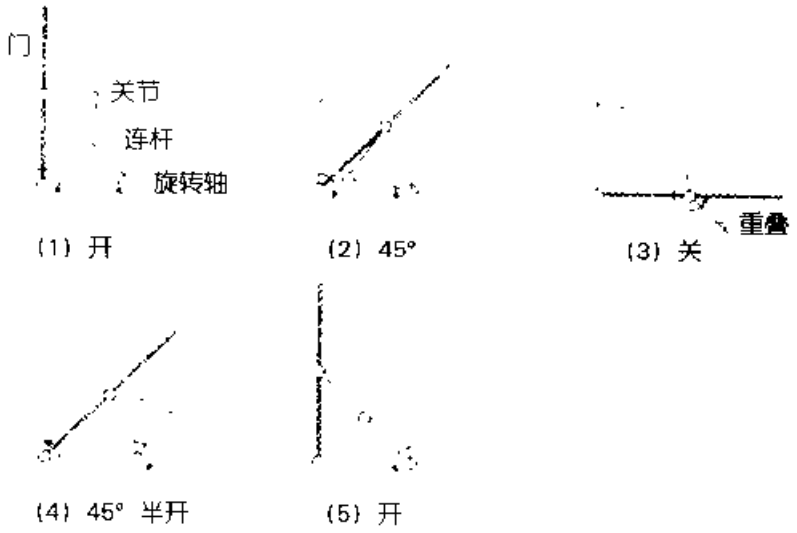


图 3.50 连杆的运动

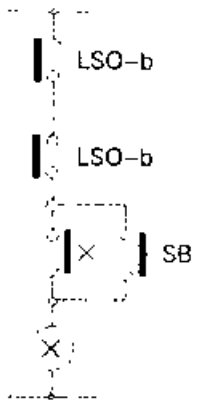


图 3.51 交互开闭的电路原理图

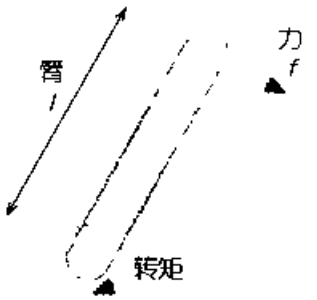
3.4 机器人的动力

3.4.1 转 矩

转矩是一种表示电机等转动设备产生的旋转力大小的物理量。如图 3.52 所示，转矩采用力臂 l（至转轴的臂长）与作用力 f 的乘积来表示（图 3.52）。即转矩 T 为：

$$T = l \times f$$

转矩的单位是重力单位中的 gm。但是，在这



转矩 = 臂长 × 力

图 3.52 转矩的定义

里的 g 不是质量，而是 1g 质量在地球上产生的力。

3.4.2 直流电机

直流电机也称为 DC 电机，DC 是直流的英文 Direct Current 的缩写，在图 3.53 中，给出了永磁式直流电机的实物分解图。在机器人中使用的电机几乎都是这种类型的电机。在这种电机的内部，电源分别接到左侧的两个电刷上。中间的零件是称为转子和电枢的旋转部件，转子的左侧装有被分割成三块的电极。通过这个特殊结构的电极和电刷，电机内的电流在不断地改变方向，以保证转子的旋转方向不变。右端是电机的铁质外壳，它还与永磁铁一道兼作电机内磁场的磁通路。

在图 3.54 中，给出了直流电机的转速与转矩以及电流与转矩的特性曲线。在此类电机中，经常使用的有 Mabuchi RE140。电机的转速随着转矩的增加将会降低。这就意味着当机器人需要爬坡时，电机受到的外部力矩增大时，电机的转速就会降低，但同时电机产生的转矩将会增大，这个增大的转矩能起到补偿电机转速下降的作用。此外，由于电机产生的转矩与流过电机的电流成正比，因此，流过电机的电流越大电机产生的转矩就会越大。当需要大的转矩时，只要在电机允许的最大电流范围之内，可以通过增大电机电流的方法加以解决。在直流电机中，当电机的转速比较慢时，流过电机的电流会很大。因此，当电机从停止状态开始启动，需要的转矩比较大时，直流电机正好能够满足这一要求。由于直流电机具有这些特点，因此，永磁式直流电机使用起来非常方便。但是，也正是由于直流电机具有的这一特性，在使用这种电机时，有一个问题必须注意。正如前面所述，当电机不转时，电机中会流过一个更大的电流，对于直流电机来说，在这种状态下负载是最大的。因此，当电机的轴被卡住不能旋转时，如果继续给电机加电压就会烧毁电机。请大家千万不要忘，直流电机在不转时负载是最大的。

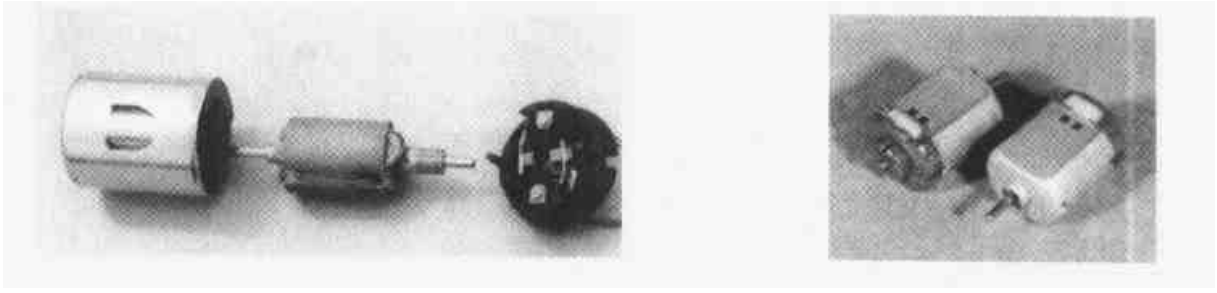


图 3.53 直流电机的结构

Mabuchi 电机的规格

在下面的表中，列出了在模型店中很容易买到的 Mabuchi 电机的规格。这张表是从 Mabuchi 电机产品目录中精选出来的。

表 3.1 Mabuchi 电机的规格

型号		FA 130 RA		RE 140 RA		RE 260 RA		RE 280 RA		RE 280 SA		RS 540 SH	
额定电压	适用范围/V	1.5-3.0		1.5-3.0		1.5-3.0		1.5-3.0		1.5-4.5		4.5-12	
	典型电压/V	1.5	3.0	1.5	3.0	1.5	3.0	1.5	3.0	3.0	4.5	12	
空载时	转速/(r/min)	9100	16400	8100	14200	6300	12300	4600	9200	7100	10400	17500	
	电流/A	0.20	0.23	0.21	0.25	0.16	0.20	0.12	0.16	0.16	0.19	0.95	
最大功率(允许的负载范围内)	转速/(r/min)	7000	13200	6100	11200	5000	10100	3700	7800	5900	8900	15100	
	电流/A	0.66	0.95	0.66	0.98	0.64	0.97	0.53	0.85	0.88	1.15	5.93	
	转矩/(g·cm)	6.0	8.5	6.5	10	10	15	11	20	26	34	325	
	转矩/(mN·m)	0.59	0.83	0.64	0.98	0.98	1.47	1.08	1.96	2.55	3.33	31.9	
	输出功率/W	0.43	1.15	0.41	1.15	0.51	1.55	0.42	1.60	1.57	3.10	50.3	
启动时(停止时)	转矩/(g·cm)	26	44	28	53	50	90	62	130	170	240	2350	
	转矩/(mN·m)	2.55	4.31	2.74	5.19	4.90	8.82	6.08	12.7	16.7	23.5	230	
	电流/A	2.20	3.92	2.10	3.87	2.56	4.73	2.30	4.70	4.80	6.90	37.0	

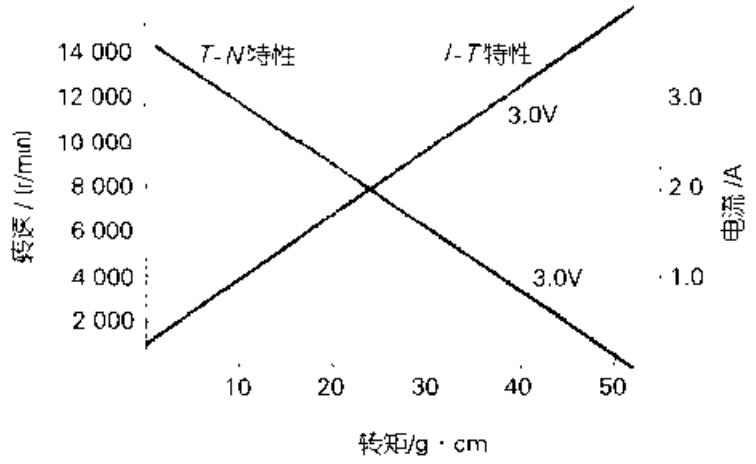


图 3.54 直流电机的特性曲线

3.5 机器人工作不正常时的求助热线

装入电池后机器人仍不动

首先检查一下电源通道，看一看是否有断线的地方。要从电池的正极开始，沿电源通路一直查到电池的负极。如果有万用表，可测量一下电机端子的电压是否正常。此外，还需要仔细检查一下配线的连接部分。因为有些焊点看起来完全焊接上了，但实际上在焊点与连线之间可能夹入了塑料末或油污之类的杂质，这样也会导致电源不通。如果在检查中没有发现引发故障的原因，可以将焊点重焊一遍试试看。

如果电路方面没有问题，问题就可能出现在机械部分。在检查机械部分时，首先要查看一下变速箱是否松动，齿轮是否转动。这时，可先将电机卸下来，通电后看它是否转动。如果转动，就可以断定问题出现在机械方面。这时可以从如下的几个方面进行检查：

· 在各支点上，设计中要求能滑动的部位是不是拧得太紧。

· 在连杆等机构的活动杆运动范围之内，是否有障碍物卡住这些运动部件。

· 在变速箱的齿轮中，是否夹进了一些小的杂物，螺丝和螺母是否卡住了活动部件。

力量太小

如果采用的结构完全相同，但和朋友制作的机器人相比，自己制作的机器人移动速度慢，或者在抓举物体时力量太小。产生这些情况的主要原因是电流不通畅，结构上出现偏差，或者是螺钉的松紧程度存在问题。

当遇到力量太小的现象时，首先应该从电路方面进行检查。考虑是什么原因使电流不能充分地流入电机中。同上面所讲的一样，要检查电路配线，如果有不完善的地方就修改过来。也可以将电机拆卸下来，与朋友的电机进行对比检测。

接下来，还要调整机械部分的松紧程度。对于需要受力的轴，可以注入些润滑油后再试试。

除此之外，检查一下是否存在为了片面地增大动作范围而使采用的结构力量不足，是否采用了高速型的变速箱而引起力量不足。上述问题都会造成动作部分的力量不足。如果存在上述问题，需要重新考虑所采用的结构，在确定了需要更改的部分后，将其改正过来。

电池发热

可以这样认为，电池发热是由于电池处于一个输出电流过大的状态。大多数情况都是由于电流没有通过电机之类的耗能部件，而是直接从电池的正极流入负极(处于短路状态)。

当遇到这种情况时，应立即将电池卸下来，检查配线是否正确。如果采用的是镍-镉电池之类的充电电池，如果发生短路，由于流过电池的电流很大，还可能引起十分危险的打火现象。当采用这种电池时，应先装入锰电池，在确认机器人能正常工作后，再换上镍-镉电池。采用这种方法是比较安全的。

还有一个原因也可能引起电池发热。在电机处于转动状态时，由于受到一个很大的外力作用导致电机停止转动。这样，就会在电机中流过一个很大的电流，这种情况也会导致电池发热。如果配线正确，就需要检查一下机器人是否存在这方面的问题。具体做法可以参考"装入电池后机器人却不动"中的处理方法。

时常停机

转动部分在运转了几下之后就停止不动了。引起这种故障的原因，一般都是由于活动部件被刮造成的。可以仔细察看一下活动杆之类的零件端部是否碰到了其他的零件。比较常见的情况是，由于螺钉头部或者螺母外露，刮住了活动杆的根部。

除此之外，令活动部件超范围工作也是引发这种故障的原因。如果活动件

是沿沟槽活动的，当沟槽的长度不够时，就会中途停止工作。在连杆组合中，如果某根连杆在配置上存在错误，怎么拉伸也达不到指定的位置，活动件就会因此停止工作。如果在制作过程中，中途更改了连杆的尺寸，或者改变了连杆的固定位置，常常会引发此类问题。

遥控器状态不正常

机器人已经制作完毕，并且在某种程度上能够按照预想的方式进行运动，在运行几次之后想进一步改进。但此时，遥控器操纵杆的工作状态变得时好时坏。有时能正常工作，有时就根本不动。应该照直前进时，却由于一侧的力量太小而变成拐弯运动。

发生这种故障的原因，可能是由于遥控器的操纵杆接触不良。应检查一下电池盒里的小零件以及各个接点零件。如果在这些零件上有灰尘、脏物，或者零件生锈，就会导致电路中的电流时通时断。产生这种现象的原因，常常是由于加工零部件过程中切削下的碎屑等杂物混入了这些零件之中。在处理时，首先要擦去零件上的灰尘和脏物。如果零件生锈可以用砂纸磨去锈迹，也可以采用材料商店出售的喷雾式除锈剂，朝生锈处喷一下。这样，就可以将零件上生锈的薄层去掉，使电流的通路畅通。

除此之外，如果在配线过程中只是将两线缠在一起，那么，当这些连接点生锈、混入灰尘或杂物时，也会引发上述的接触不良现象。

连线经常缠住车轮

由于全神贯注地操纵遥控型机器人，不知不觉中，有时从遥控器引出的连线会缠到机器人的轮子上。这种现象比较常见。

为了解决这种问题，可以在机器人上安装一个立柱，在遥控器上也加装一个横杆，将连线固定在立柱和横杆上。采用这样的方法，就能解决上述问题。如果在机器人上安装一个引出连线的立柱，连线就不会靠近机器人的车轮，而且，由于连线的另一端是从遥控器伸出的横杆中引出的，因此操作者还可以通过横杆控制连线。

齿轮空转

当遇到空转故障时，可以从如下的几个方面入手，检查引发故障的原因：

- 固定变速箱上的螺丝是否松动。
- 连接电机的齿轮是否有磨损。
- 啮合的齿轮间是否发生分离，齿轮的固定轴是否松动。

如果是曲柄或车轮的轴发生打滑，应该从如下几个方面检查引发故障的原因：

· 对转轴是否实施了防滑处理(参考曲柄加工部分)。

· 转轴中是否浸入了油类物质。如果浸入了油类物质,要用抹布仔细擦干净。

· 结构上是否存在过于勉强的地方,是否存在利用杠杆原理由一个主动件驱动多个从动件的地方。

稍有不平就被刮住

每当机器人中的杆与杆在完成某些动作发生重合时,由于零部件间的摩擦和刮碰导致动作中途停止。对于这种故障,可以采用在零部件之间添加垫片、塑料板的方法加以解决。

螺钉容易松动

对于因机器人的自身震动等原因引起的螺钉松动,可以采用如下的方法加以解决。在螺母前面加入一个弹簧垫片,然后再上紧螺母。如果没有这种垫片,用海绵切出一个垫片夹在螺母前面,也可以起到相同的作用。对于以后不需要拆卸的地方,可以在将螺钉上紧后,在螺纹上涂上涂料,待涂料干燥后也能起到防止螺钉松动的效果。

另外,还有一种称为尼龙螺母的螺母,这种螺母中间带有尼龙。采用这种螺母进行固定,由于螺钉和尼龙的摩擦作用,螺钉不易松动。

润滑油粘到了其他地方

如果粘到了车轮之类的零部件上,应该将其卸下,用洗涤剂清洗。然后等其自然干燥,或者用抹布仔细擦拭。对于不能用水清洗的零部件,可以涂上少量的清洗剂然后用纸仔细擦除。

零件强度不够

在制作机器人的过程中,常常会发生这样的情况。对于一些长的零部件,尽管在制作时采用了一些比较坚硬的材料,但制作完成后,才发现这些长零件在工作过程中像钓鱼杆一样弯曲了,不能形成正确的支撑状态。

当遇到这种情况时,如果是允许加固的零部件,可以在原来的零件上加一个支柱构成三角形,或者在不易产生弯曲的方向上再加上一根同样的零部件,将两者叠加在一起,并在多处用螺钉将两个零件固定在一起。这样一来,零件就不易再发生弯曲了。

另外,采用梯形结构,也是一种解决方法。如果上述方法都不适用,可以将前面的零部件改用轻质材料去做。

稍有刮碰就停止不动

对于那些遇到避免不了的碰撞就会停止的情况，可以用塑料做一个导板。将弯成斜面的导板安装到易发生碰撞的部位，调整引导板使机器人在遇到碰撞时能在导板方向上滑动，以保证机器人的运动不至于停下来。

为了防止链条和皮带脱落，也可以采用导轨或导板。

焊点不牢固

在将某处焊接的部件拆下重焊时，常常会发生焊接效果没有第一次好的现象。在焊锡里，一般都含有防锈成分，焊接后能够形成一种保护薄膜。因此，发生上述现象一般是由于焊接部位粘上了润滑油。如果电线的长度还有富裕，可以将其剪断重焊，如果不能这样做时，则要将脏物仔细擦掉后，将焊点处再添点锡重新焊一下，也许问题就可以解决了。

chapter 4

机器人的控制

机器人的外形已经制作完毕，电机也已安装就绪。至此，这个机器人似乎马上可以运行了。如果要制作的是遥控型机器人则的确如此，剩下的工作只是安装开关和制作遥控器。然而，如果要制作的是用来参加迷宫、相扑以及寻迹之类竞赛的自律型机器人，则还剩下很多工作要做。在这类比赛中，不允许选手触摸机器人，机器人的一切行动都要靠自己进行判断实施。因此，在制作此类机器人时，必须给它安装一个大脑，并制作能将大脑发出的指令传送给电机之类各种外部设备的电路，而且，还要给它安装上眼睛和耳朵等等。让机器人按大脑提出的要求进行工作的过程称为控制，本章将学习一些关于机器人控制的基本知识。

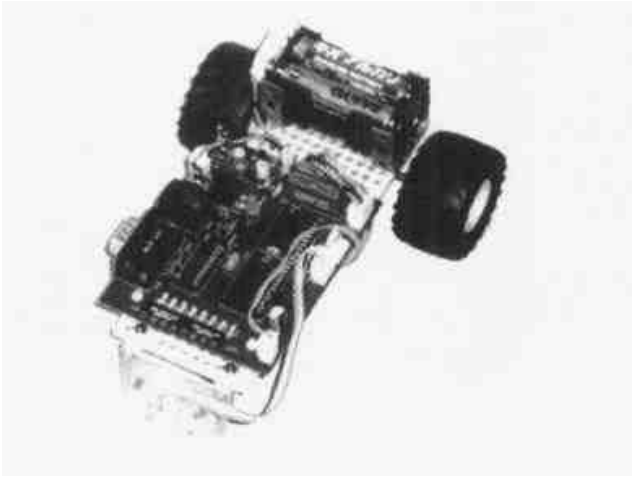


图 4.1 搭载有单片机的机器人

4.1 机器人的大脑

4.1.1 微型计算机

机器人的大脑就是计算机。可以这样说，在自律型机器人中，99%的机器人都搭载有计算机。如果在比赛中允许使用电缆与机器人相连，那么，可以采用个人电脑作为机器人的大脑，如果要制作参加相扑、穿越迷宫之类竞赛的机器人，就必须采用单片机或单板机。因为这类机器人的所有部件都必须安装在机器人的内部。单片机是一种将计算机所有功能部件都集成在一个IC芯片上

的微型计算机。单板机是一种将 CPU、存储器等各功能部件都安装在一块很小线路板上的微型计算机。单片机的外形结构如图 4.2 所示。在这个芯片的内部，集成有在解释计算机工作原理时常常提到的 CPU、存储器、输入输出口（简称为 I/O 口）等各种功能部件。由于这种计算机主要用于控制，因此，人们也将这种单片化的微型计算机称为微控制器。

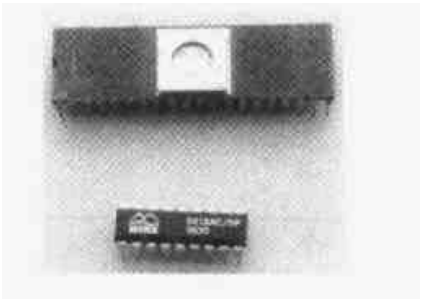


图 4.2 单片机

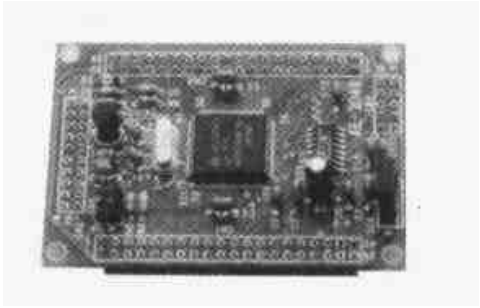


图 4.3 H8 单板机

单板机和单片机的基本组成结构如图 4.4 所示。在这里要注意的是，存储器被分成了 ROM 和 RAM 两种类型。ROM 是一种当电源被切断后，内部信息也不会丢失的存储器。但同时，CPU 不能直接将数据写入其中。当需要进行写入时，可以使用被称为 ROM 写入器的设备来完成，也可以采用从外部给 ROM 加上特定写入信号的方法来完成。RAM 同个人电脑中的内存一样，是一种可读写的存储器。

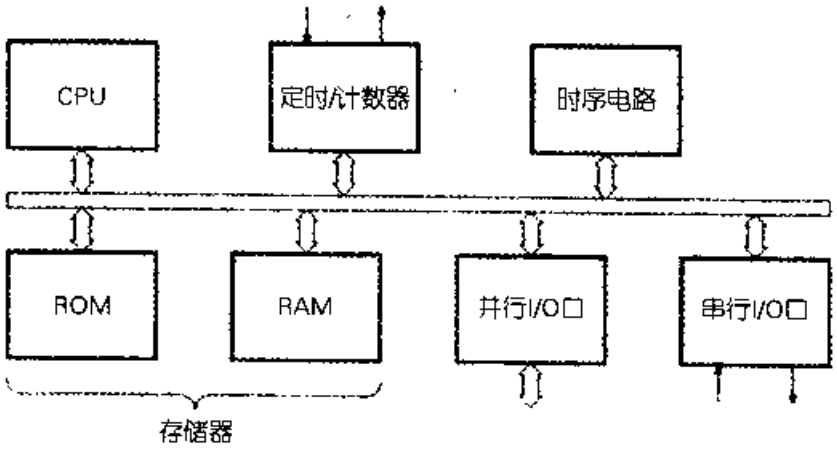


图 4.4 单片机内部结构框图

通常，像这种用于控制的计算机，在加上电源后就应该立即工作。因此，控制程序应存放到电源被切断后，信息也不会丢失的 ROM 之中，而在程序执行过程中需要暂时保存的那些信息，一般是存放在 RAM 之中。

输入输出口也称为 I/O 口。当需要将 CPU 中的数据输出给外部设备，或者将开关状态等外部信息输入给 CPU 时，就需要使用这种功能部件。其地位相当于个人电脑中的键盘、鼠标以及打印机。

同 I/O 口一样，CPU 也将定时器作为一种外围部件处理。常用它计量开关的开、闭次数，或者用它完成对某一时间间隔的计时。

在表 4.1 中，列出了在自制小型机器人中经常采用的微机。除此之外，可以采用的微机还有很多。表中仅列出了一些容易得到、在业余爱好者中广泛使用并且可以编程的几种类型。

表 4.1 常用单片机

名 称	存 储 器	通用寄存器	输入输出口	定 时 器	其 他
PIC16F84	ROM 14bit × 1k (闪速存储器) RAM 8bit × 63 EEPROM 8bit × 64	W 8bit × 1	并行 10 × 13	WDT 8bit × 1	有效时钟频率 3MHz 电源 2.0～6.0V
AVR90S 1200	ROM 16bit × 1k (闪速存储器) 无 RAM EEPROM 8k × 64	R0～R31 8bit × 32	并行 10 × 15	WDT 8bit × 1	有效时钟频率 12MHz 电源 4.0～6.0V
AVR90S 85358	ROM 16bit × 1k (闪速存储器) RAM 8bit × 512 EEPROM 8k × 512	R0～R31 8bit × 32	并行 10 × 32 串行 10 × 1	WDT 8bit × 2 16bit × 1 PWM × 3	有效时钟频率 8MHz 电源 4.0～6.0V 8 × 10bitA-D 转换器
TMP84CO 15BF	无 ROM 无 RAM	AF,BC, DF,HL 8bit × 7	并行 10 × 16 串行 10 × 2	WDT 8bit × 4	有效时钟频率 3MHz 电源 5V ± 10%
H8 /3048	ROM 16bit × 64k (闪速存储器) RAM 8bit × 4k	R0～R15 16bit × 16	并行 10 × 78 串行 × 2	WDT 16bit × 5 PWM × 50	有效时钟频率 5MHz 电源 5V ± 10% 8 × 10bitA-D 转换器 2 × 8bitD-A 转换器 DMA 控制器

4.1.2 ROM

ROM 是 Read Only Memory 的缩写，泛指读出专用的存储器(只读存储器)。CPU 不能直接将数据写入这种存储器中。当需要写入时，要采用特殊的方法。根据写入信息的方法以及擦除信息方式的不同，ROM 可以分为如下几

种类型：

掩模 ROM 掩模是一种在制造 IC 时使用的模板，在制造 IC 时，要按照模板上刻录的形状制作 IC 芯片。掩模 ROM 就是在制造 ROM 时，将要写入的信息直接制成模板而生产出的一种 ROM。由于它是在制造过程中直接将信息写入的，因此生产成本比较低，适于大批量生产。在家用计算机的机箱内部，都含有这种掩模 ROM。

PROM PROM 是可编程 ROM 的简称，是指在 IC 制造结束后，再将信息写入其中的一种 ROM。在向 PROM 中写入信息时，可以采用 ROM 写入器(图 4.6)这种专用设备来完成，也可以利用 PROM 芯片内部集成的写入专用电路，通过外部给芯片加上特殊的信号来控制内部的专用电路，从而完成信息的写入。在 PROM 中，有可以写入但不能擦除，即只能写入一次的产品。这种产品称为一次性 PROM，多用于生产有一定批量的产品。



图 4.5 PROM

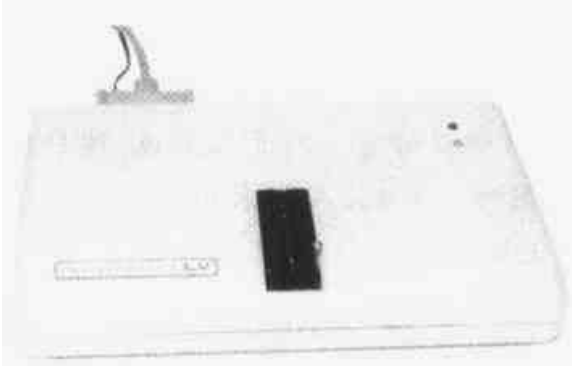


图 4.6 ROM 写入器

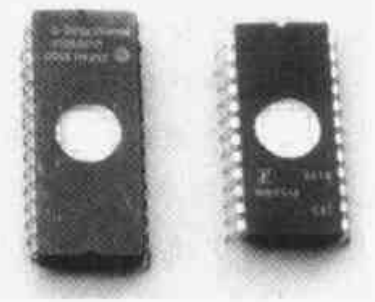


图 4.7 EPROM

可以将内部信息擦除的 PROM 称为 EPROM(Erasable PROM)。在 EPROM 中，按擦除方式的不同又分为两种类型。一种是通过紫外线照射来擦除内部信息的。在 PROM 中，这种 EPROM 占有很大比例。为了能让紫外线照射到存储器芯片的内部，如图 4.7 所示，这种产品都设有一个玻璃窗口。在擦除信息时，需要采用波长为 275nm 的紫外线，对准玻璃窗口照射 15～20 分钟。

能够通过电来擦除内部信息的 PROM 称为 EEPROM(Electrical EPROM)。此外，还有一种同 EEPROM 一样，也是通过电来完成信息写入或擦除的存储器，这种存储器称为闪速存储器(flash memory)。它内部存储单元的电路结构比 EEPROM 简单，生产成本更低。在写入信息的方式上，两者略有不同。EEPROM 允许每次仅改写其中的部分信息；而闪速存储器，每次需要将所

有信息全部擦除，然后全部重新改写。

4.1.3 Z80

Z80是一种具有较长应用历史的8位微处理器，它是一种典型的8位CPU。现在，市场上出售的Z80都经过了各种改进，或者具有极高的速度，或者已将输入输出电路以及定时器等功能部件都集成在芯片内部。由于Z80的应用历史较长，因此，包括编程等开发环境都很齐备，这也是它的一大优点。

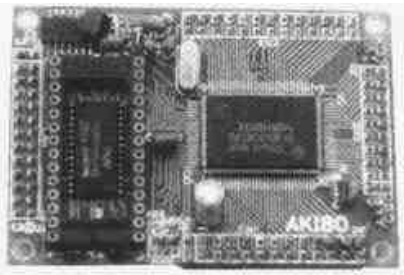


图4.8 AKI-80单板机

现在使用的Z80，都是将I/O口和定时器等外围电路都集成在CPU内部，具有更高性能的



计算机程序

在计算机中使用的指令都是由二进制数构成的，是一串由1和0排列组成的数字。这种计算机能够理解的语言称为机器语言。对于人来说，这种机器语言非常难于理解，书写和阅读都非常困难。因此，人们采用便于人们理解，并且与机器语言一一对应的符号来描述程序。例如，采用这种语言，就可以将从存储器中读出数据的指令写成

LD A，100

的形式。在这里，LD是英语装载LoaD的缩写。其中，A表示要装载数据的目的地，100表示被读取的存储器位置。采用这种方法描述程序，就可以使描述变得简单一些。这种语言称为汇编语言。

虽然使用汇编语言编写的程序便于人们理解，但必须将其翻译成机器语言后计算机才能执行。当然，这种翻译工作可以通过查看两种指令对照表，采用手工的方式来完成。由于这种方法的工作效率很低，因此，这种翻译工作通常都是交给计算机来完成的。完成这种翻译工作的程序称为汇编器。

至此，可以将编写程序的步骤归纳如下：

- 用汇编语言编写程序；
- 用汇编器将其翻译成机器语言；
- 将汇编后的程序移至微机中执行。

产品。在业余爱好者中广泛使用的产品，是利用东芝生产的 TMPZ84C105BF 与 Z80 系列 IC 构成的单板机，其型号为秋月电子商贸公司(日本)的 AKI-80。

4.1.4 PIC

PIC 是一种由 Micro chip technologe 公司生产的系列单片机。这种计算机采用程序存储器和数据存储器完全独立的结构，每个存储单元的大小也不相同。通过加大程序存储器的大小，就可以使各种指令所占的存储空间完全相同。顺代提一句，Z80 的每条指令所占用存储空间是不同的，根据指令的不同，要分别占据为 1～4 个存储单元。



编写单片机/单板机的程序

单片机/单板机的程序是如何编写的？

编写个人电脑的程序时，一般是先通过键盘和 CRT 屏幕来编辑程序，然后再让个人电脑将编写好的程序转换成计算机可以理解的机器语言。最后，让个人电脑执行这个转换后的程序。像个人电脑这样的计算机，一般都装有操作系统、并且 CPU 的能力也很强，因此，只要计算机中具备有足够的存储器，就可以在个人电脑上完成上述一整套的编程工作。相反，对于编写单片机或单板机的程序而言，由于单片机或单板机中存储器容量有限，又没有操作系统，因此，不能采用与个人电脑完全相同的方法进行编程。通常，在编写此类程序时，将编辑、翻译等工作交由个人电脑完成，用户仅从个人电脑上获取所需的机器语言结果。

当在个人电脑上将已编写的程序翻译成机器语言后，需要将翻译后的程序移植到单片机或单板机上进行试运行。这一过程是通过将机器语言程序写入(移植)PROM 中来完成的。在程序的移植过程中，即可以采用 ROM 写入器将程序写入 ROM 中；如果在这些小型微机的内部具有闪速存储器，还可以用 ROM 写入器直接将程序写入闪速存储器中。最近，还出现了一种 ISP(In System Programming)写入方式。采用这种方式，不需要将 IC 芯片从控制板上取下，可以直接进行写入。

接下来是运行程序。如果程序不能正常工作，就需要返回到个人电脑上进行修改、汇编。然后，将修改后的机器语言程序移植到单片机或单板机上再次运行，经过多次修改直至程序完全无误。

PIC 的种类有很多，使用起来非常方便。其中，应用最广的是 16F84。在这种 IC 的内部，集成有能存放 1024 条指令的闪速速存储器，以及能存放 68 个字节的数据存储器。



图 4.9 PIC 单片机 16F84

Micro chip technologe 公司为 PIC 单片机用户提供了可在 Windows 下运行的汇编器和软件仿真器。在将控制程序写入 PIC 单片机之前，可以通过这些软件来检查程序是否有误。这些汇编器和软件仿真器，可以免费从 Micro chip technologe 公司的网页上下载。

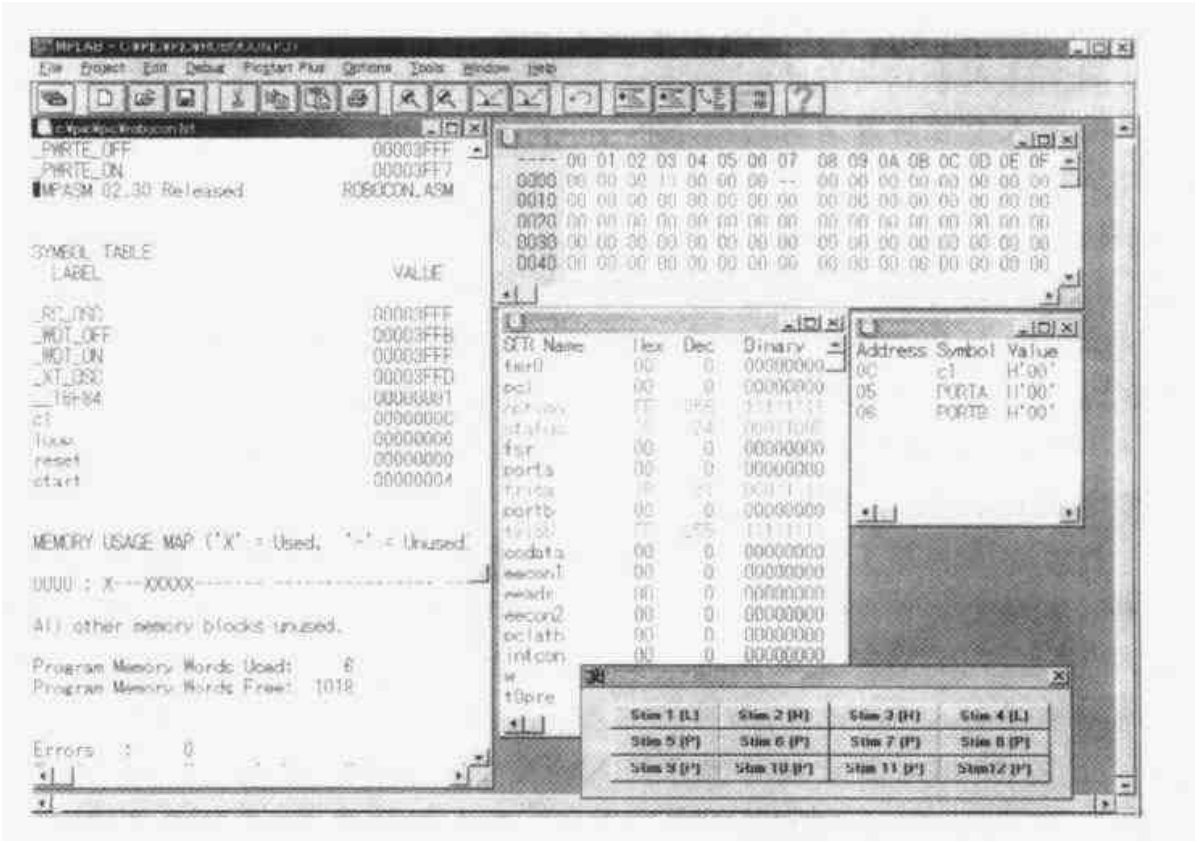


图 4.10 软件仿真器的界面

4.2 机器人的眼睛、耳朵及触觉

无论机器人具有多么出色的智能，如果没有眼睛和耳朵，就不能根据周围情况采取相应的行动。在机器人中，相当于人眼睛和耳朵的部分就是传感器。

4.2.1 微动开关

盲人在步行时，会使用一根白色的拐杖，通过左右敲击前方的地面，确认前方是否有障碍物。当拐杖碰到了什么东西时，盲人就会知道在那里有障碍物。在具有这种触觉功能的器件中，最典型的就是微动开关。

微动开关是一种能够快速动作的开关。当开关被按动到一定程度后，内部的机械结构就会瞬间闭合。通常，整个开关都会被封装在一个小盒子内。图4.11中给出了两种微动开关的例子。右侧的开关带有一根长杆，当它仅受到几克力的作用时，开关就会产生动作。这种微动开关，可以用作检测薄纸之类很轻物体的传感器。左侧的开关带有一个杠杆，杠杆的前端装有滚轮，如果将这个滚轮与地面接触，就可以构成检测地面是否平整的传感器。

如图4.11所示，微动开关一般都引出有3个引脚。这是为了在传递信号时，是将微动开关作为常开开关（按下后开关接通）、还是作为常闭开关（按下后开关断开）而设置的。在微动开关的引脚上，一般都标有如图所示的标记。在使用时，如果将C或COM引脚与ON短接，则开关为a接点；如果与NC短接，则开关为b接点。

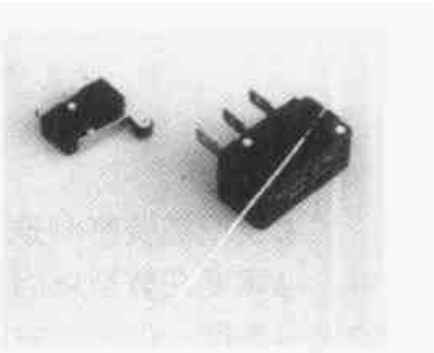


图4.11 微动开关

4.2.2 光传感器

虽然触觉传感器能够感知物体形状的变化，但在寻迹类比赛中，机器人只能通过场地上的颜色来确定移动的方向。对于这种情况，靠触觉传感器来感知行进线路就无能为力了。此外，在使用触觉传感器时，即使物体的形状发生了变化，只要传感器没有触碰到，哪怕障碍物距它并不远，它也不会知晓。只有等到发生接触之后才会产生动作，也许一切都晚了。当需要进行非接触检测时，可以采用光敏传感器。

在光敏传感器中，既有由发光器（向外发光）与感光器（感测是否有光）组合

在一起构成的传感器，也有仅采用感光器件构成的光传感器。仅由感光器件构成的光传感器，多用于街道上照明灯的开闭控制；在机器人中使用的光传感器，一般是采用由发光部与感光部组合而成的传感器。

在光传感器中，有受光照后阻值急剧下降的 CdS(硫化镉)光敏电阻、受光照射后能够产生光电流的光敏二极管、以及用光电流替代基极电流制成的光敏三极管。在图 4.12 中给出了采用光敏三极管或 CdS 光敏电阻作为光传感器的感光电路。在这两种电路中，如果光传感器受到光照，电路的输出电压就会降低。电路中给出的电阻值并不固定，这是因为根据选用的传感器种类和光源的不同，电阻的取值可能会有所不同。通常都在 1kΩ 到几十千欧之间，具体的取值需要通过实验确定。另外，在光控电路中，通常都是采用红外 LED 作为光源。由于红外 LED 发出的光人眼看不到，不会产生光亮，因此具有很多优点。当然，前提是需要这样的电路。

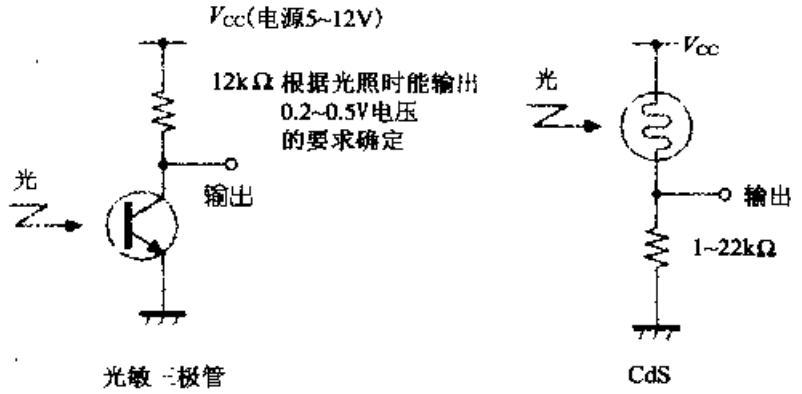


图 4.12　感光电路

如果仅仅需要感测是否有光，那么，采用上述的任何一种光传感器都没有关系。当需要在教室或自己房间这种光照固定的场所中进行光检测时，采用普通的光传感器一般都不会出现问题。但是，如果是在赛场等光照情况不定的场所中应用，情况就不好说了。因为会有电视台采访，传感器可能会遇到强光照射。在这种情况下，需要采用调制的光源，以克服传感器可能产生的误动作。有关这一问题，由于涉及到的问题比较复杂，在这里就不做理论性说明了。其基本原理是令发光器按照某种约定发光，而接收器对于接收到的、不满足约定条件的光就不作处理。如果要制作这样的电路，需要有大学毕业程度的知识。幸好，近来市场上出售有已经将调制电路和光敏元件都组合在一起的 IC 光传感器。在使用这种 IC 光传感器时，只需要将 LED 与 IC 芯片的相关引脚连接起来，就可以构成调制式光传感器。作为这种 IC 的使用范例，在图 4.13 中示出了滨松光电技术公司生产的光调制 IC 芯片 S4282-11 的管脚图及应用范例。

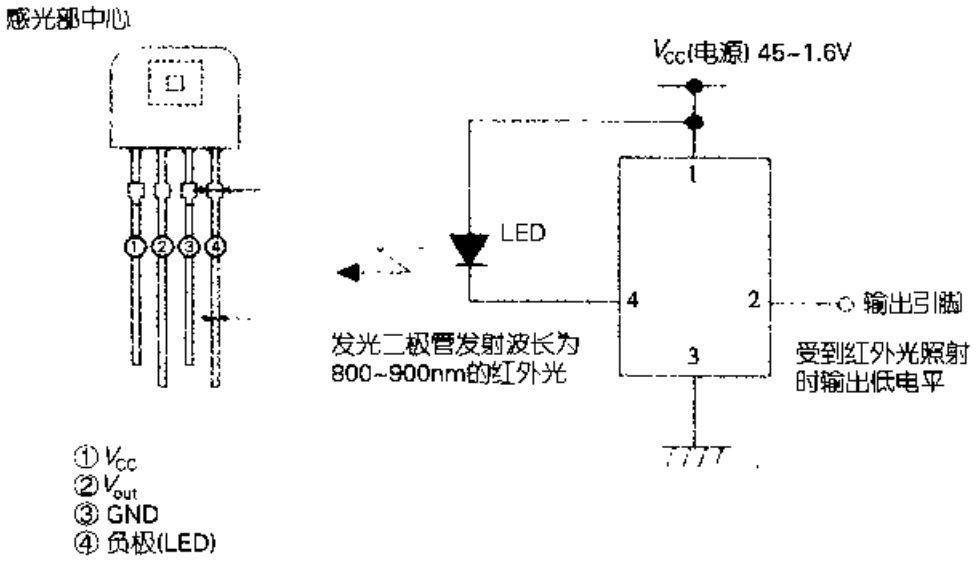


图 4.13 S4282-11 的管脚图及使用方法

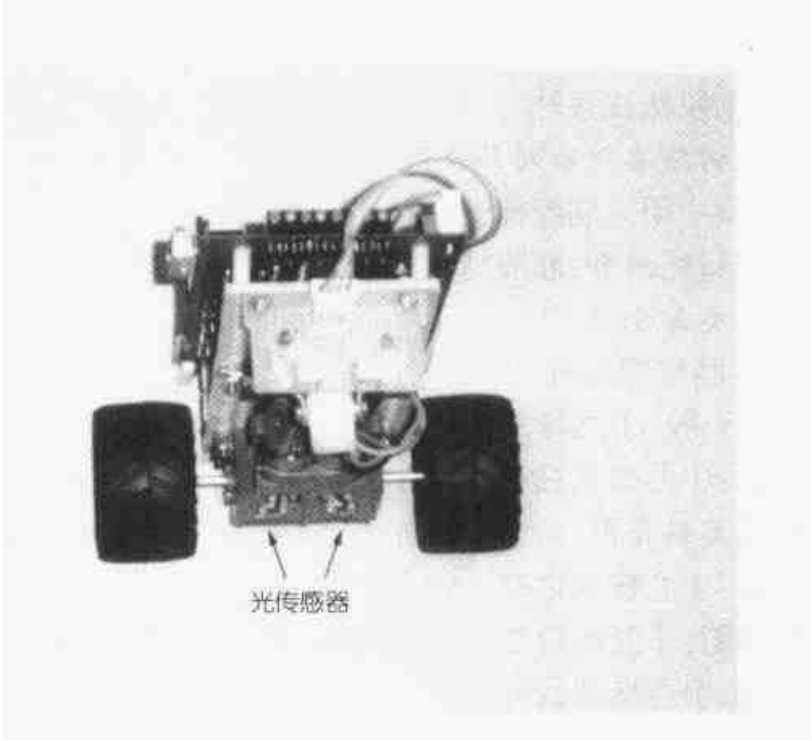


图 4.14 寻迹机器人中的光传感器及光源

机器人制作用零部件、材料一览表

计算机类

Windows, Internet Explorer：微软公司的注册商标

Netscape Communicator：网景公司的注册商标

Pentium：英特尔公司的注册商标

材料类

塑料瓦楞板(减震板)：山崎教育系统株式会社

透明胶带：尼奇阪株式会社的注册商标

塑料板(厚度：1.2mm, 1.0mm, 0.5mm, 0.3mm)：田宫模型株式会社

苯乙烯板(厚度：3mm, 5mm)：田宫模型株式会社

黏合剂

塑料乳胶系列黏合剂

木工胶：小西株式会社

白胶：制胶株式会社

醋酸塑料树脂溶剂系列黏合剂

胶水(照片用)：制胶株式会社

发泡塑料黏合剂：制胶株式会社

合成橡胶类黏合剂

G17：小西株式会社

G 型填充胶：小西株式会社

黏接胶：小西株式会社

环氧树脂类黏合剂

超级胶：小西株式会社

环氧树脂：千叶凯奇社的注册商标，销售：昭和高分子株式会社

快速胶：小西株式会社

E 胶：小西株式会社

氰基丙烯酸类黏合剂

阿龙 α：小西株式会社

金 3000：制胶株式会社

变速箱

双电机用变速箱：田宫模型株式会社

3 速曲柄变速箱：田宫模型株式会社
通用型变速箱：田宫模型株式会社
游侠便捷式变速箱：山崎教育系统株式会社
便捷式可调速变速箱：山崎教育系统株式会社

履　带

货车及轮胎套件：田宫模型株式会社

车　轮

货车轮胎套件：田宫模型株式会社
越野车轮套件：山崎教育系统株式会社
橡胶轮胎：山崎教育系统株式会社

带　轮

带轮套件：田宫模型株式会社
大型带轮套件：田宫模型株式会社
链轮套件：山崎教育系统株式会社
链条套件：山崎教育系统株式会社

轴

轴套件：田宫模型株式会社

万向轮

万向轮：山崎教育系统株式会社

其他零部件

双通道遥控器：田宫模型株式会社
4 通道遥控器：山崎教育系统株式会社
双通道遥控器套件：山崎教育系统株式会社
万能梁(用于连杆)：山崎教育系统株式会社
特种万能配件(用于加固)：山崎教育系统株式会社
自位底盘(用于车体等)：山崎教育系统株式会社
万能开孔基础接头(用于车体等)：山崎教育系统株式会社
自位轴承：山崎教育系统株式会社
卷边钢板(用于制作车体)：田宫模型株式会社

3 速曲柄变速箱：田宫模型株式会社
通用型变速箱：田宫模型株式会社
游侠便捷式变速箱：山崎教育系统株式会社
便捷式可调速变速箱：山崎教育系统株式会社

履　带

货车及轮胎套件：田宫模型株式会社

车　轮

货车轮胎套件：田宫模型株式会社
越野车轮套件：山崎教育系统株式会社
橡胶轮胎：山崎教育系统株式会社

带　轮

带轮套件：田宫模型株式会社
大型带轮套件：田宫模型株式会社
链轮套件：山崎教育系统株式会社
链条套件：山崎教育系统株式会社

轴

轴套件：田宫模型株式会社

万向轮

万向轮：山崎教育系统株式会社

其他零部件

双通道遥控器：田宫模型株式会社
4 通道遥控器：山崎教育系统株式会社
双通道遥控器套件：山崎教育系统株式会社
万能梁(用于连杆)：山崎教育系统株式会社
特种万能配件(用于加固)：山崎教育系统株式会社
自位底盘(用于车体等)：山崎教育系统株式会社
万能开孔基础接头(用于车体等)：山崎教育系统株式会社
自位轴承：山崎教育系统株式会社
卷边钢板(用于制作车体)：田宫模型株式会社